

Ciclo de Webinars AgTech



Plan de Operación Anual (POA) 2019- 2020 de FONTAGRO

Producto 7. Al menos cuatro iniciativas de soluciones tecnológicas de AgTech (pilotos) para cofinanciar.

**Secretaría Técnica Administrativa
2023**





Códigos JEL: Q16

ISBN:

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por **Secretaría Técnica Administrativa**

Copyright © 2023 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

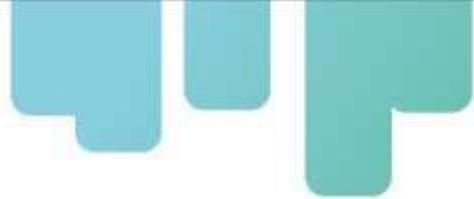
www.fontagro.org





ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	12
Información Reelavante	12
Financiamiento	12
aGTECH 1: HUB-SmartFruit-ALC: Soluciones Inteligentes Para Sistemas Familiares Frutícolas ALC, en el Escenario De Cambio Climático	13
Abstract	13
Resumen	13
Antecedentes	14
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Metodología	16
Componente 1. Conformación de la plataforma Hub Smart Fruit-ALC y articulación con el ecosistema de emprendedores AgTech.....	16
Componente 2. Diseño, implementación y adopción de un sistema informático colaborativo <i>OpenFruit</i>	18
Resultados	21
Indicadores Técnicos	22
Hallazgos Destacados	23
Historias en el campo	23
Discusión	24
Conclusiones	25
Recomendaciones	25
Referencias Bibliográficas	26
aGTECH 2: Digitalización de la Agricultura de Pequeña Escala	27
Abstract	27
Resumen	27



Antecedentes	28
Objetivos.....	29
Objetivo general.....	29
Objetivos específicos.....	29
Metodología.....	29
Metodología del componente 1: Diseño de la solución digital, bajo escenarios biofísicos y de arreglos institucionales diferentes.....	29
Actividad 1.1: Levantamiento de requerimientos a nivel de productores y de instituciones locales para la implementación de la solución digital en Colombia, Honduras y Nicaragua.	29
Actividad 1.2: Establecer la metodología, diseño experimental e indicadores objetivamente verificables relacionados a la adopción de la solución tecnológica.	30
Actividad 1.3: Análisis de tecnologías para responder a las necesidades identificadas.	30
Actividad 1.4: Diseño de la solución digital	30
Actividad 1.5: Desarrollo de un módulo de generación automática de reportes.	30
Metodología del componente 2: Desarrollo e implementación de la solución tecnológica en fincas de productores de los países de interés.	31
Actividad 2.1: Desarrollo y prueba piloto de los prototipos de sensor para medir humedad de suelo.	31
Actividad 2.2: Fabricación del dispositivo implementado con los productores.....	31
Actividad 2.3: Instalación y seguimiento participativo de la solución tecnológica en campo.	31
Actividad 2.4: Colecta de datos con información de los ciclos de siembra de los productores y búsqueda de información secundaria.	31
Actividad 2.5: Procesamiento y análisis de los datos de humedad de suelo, junto con los ciclos de cosecha e información secundaria.	31
Actividad 2.6: Discusión de los resultados con expertos y generación de recomendaciones agronómicas relevantes.....	31
Actividad 2.7: Medición de la intención de adopción de tecnologías de agricultura digital y prácticas climáticamente inteligentes.	32
Metodología del componente 3: Plan estratégico para el escalado.	32
Actividad 3.1: Investigación de mercado de la solución tecnológica.	32
Actividad 3.2: Plan de negocio de la solución digital.....	32
Metodología del componente 4: Desarrollo de capacidades y difusión de resultados técnicos y científicos.	32
Actividad 4.1: Capacitación a usuarios finales en el uso de la tecnología.....	32



Actividad 4.2: Publicación de resultados por medios de divulgación.	32
Actividad 4.3: Publicación de resultados y metodología en medios académicos.	32
Actividad 4.4: Desarrollo de un seminario sobre el uso del sensor para toma de decisiones basadas en análisis de datos y construcción de servicios.	33
Resultados	33
Mapeo de actores	33
Diagnóstico de conocimiento y uso de tecnologías digitales, y caracterización de sistemas productivos de los sitios piloto de Colombia, Honduras y Nicaragua	33
Comparación de tecnologías vigentes	33
Diseño de prototipos	34
Diseño de herramienta fuera de línea para visualización de datos	34
Pruebas piloto de los prototipos y réplica del dispositivo final.....	34
Seguimiento participativo en campo.....	34
Datos de manejo de cultivos e información secundaria.....	35
Procesamiento de los datos.....	35
Manual de manejo de humedad de suelo	35
Intención de adopción de la solución tecnológica	35
Difusión de resultados técnicos y científicos.....	36
Webinar.....	36
Blogs.....	36
Videos.....	37
Noticias	37
Participaciones en conferencias	37
Artículos científicos.....	37
Indicadores Técnicos.....	38
Hallazgos Destacados	38
Historias en el campo	38
PLACA: Plataforma de Acción Climática en Agricultura de Latinoamérica y el Caribe.....	39
Semana de la Agricultura Digital 2023.....	39
Conclusiones	39
Recomendaciones	39



Referencias Bibliográficas.....	40
aGTECH 3: SISTEMA DE ASESORAMIENTO AL REGANTE (SAR)	42
Abstract	42
Resumen.....	43
Antecedentes.....	44
Objetivos	45
Objetivo general.....	45
Objetivos específicos	45
Metodología	45
COMPONENTE 1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL Y DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SAR.	45
Actividad 1.1	45
Actividad 1.2.	46
Actividad 1.3.	46
COMPONENTE 2. DESARROLLO DE LAS TICS DEL SAR.	46
Actividad 2.1.	46
Actividad 2.2.	47
Actividad 2.3.	47
COMPONENTE 3. IMPLEMENTACIÓN, IMPACTO Y ESCALAMIENTO EL SAR.	47
Actividad 3.1.	47
Actividad 3.2.	47
Actividad 3.3.	48
Resultados	48
COMPONENTE 1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL Y DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SAR.	48
COMPONENTE 2. DESARROLLO DE LAS TICS DEL SAR.	49
Ajuste de datos de humedad de suelo estimados con sensores de campo.....	49
Calibración	50
Validación.....	50
Análisis general de los datos.....	50
Ajuste de datos de humedad de suelo estimados con sensores remotos	50



UTILIZANDO LAS OBSERVACIONES DEL SET DE DATOS SE REALIZARON LOS SIGUIENTES PASOS:	51
Datos del lote	51
Datos de cultivo	52
Datos de suelo.....	52
Datos de lluvia.....	52
Datos de clima.....	52
Datos de riego.....	52
Cálculo del balance hídrico	52
COMPONENTE 3. IMPLEMENTACIÓN, IMPACTO Y ESCALAMIENTO EL SAR.	53
Indicadores Técnicos	55
Hallazgos Destacados	56
Historias en el campo	56
Discusión	57
Estudio de las características del software de balance hídrico	58
Conclusiones	59
Recomendaciones	60
Referencias Bibliográficas	61
Recuperado de: http://revistatrazos.ucse.edu.ar/index.php/download/el-area-de-riego-del-rio-dulce-y-la-actividad-agricola-de-subsistencia/?wpdmdl=397	61
FAO (2015). <i>Estudio del potencial de ampliación de riego en Argentina</i> . ISBN 978-92-5-308995-6. Buenos Aires, Argentina. FAO.....	61
FAO (2014). <i>El estado mundial de la agricultura y la alimentación</i> . Roma, Italia.	61
FAO (2014b). <i>Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Políticas</i> . Roma, Italia.....	61
Greifeneder, F., C. Notarnicola, W. Wagner (2021). “A Machine Learning-Based Approach for Surface Soil Moisture Estimations with Google Earth Engine”. <i>Remote Sens.</i> 2021, 13, 2099. https://doi.org/10.3390/rs13112099	62
Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). “Reference Crop Evapotranspiration from Temperature”. <i>Applied Engineering in Agriculture</i> , 1(2),96–99. Recuperado de: https://doi.org/10.13031/2013.26773	62
AGTECH 4. °AHoRa: Aplicativo para productores familiares de musáceas	65



Resumen	65
Abstract	66
Antecedentes	67
Objetivos.....	68
Objetivo general.....	68
Objetivos específicos.....	68
Metodología.....	68
COMPONENTE 1. DISEÑO DE UNA PLATAFORMA DE CÁLCULOS BASADA EN DATOS METEOROLÓGICOS Y ABIÓTICOS PARA REALIZAR PROYECCIONES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO.....	68
Actividad 1.1. Formulación de la plataforma de cálculos y escenarios de uso	68
Actividad 1.2. Formulación de un plan de negocio.	68
Actividad 1.3. Realizar el taller inaugural del proyecto (Virtual).....	69
Recolección de información. Colombia.	69
Perú:.....	70
República Dominicana:	71
Análisis de la información recolectada.....	72
Análisis cuantitativo	73
Aplicativos o modelos similares en el mercado.....	74
Actividad 1.4. Estudio para el diseño de la versión inicial de la aplicación	74
COMPONENTE 2. DESARROLLAR UN ESTUDIO PARA LA VERSIÓN DEMO, CON FUNCIONALIDADES GENERALES.....	74
Actividad 2.2. Desarrollo de un estudio para la versión Demo de la aplicación	74
Actividad 2.3. Estudio de prueba de la aplicación Demo en campos de productores.	74
Fase 1: Selección de productores y técnicos.....	75
Fase 2: Uso del aplicativo	75
Fase 3. Aplicación y análisis de la encuesta	76
Actividad 2.4. Estudio para el desarrollo de mejoras de la aplicación Demo y del plan de negocio.	77
COMPONENTE 3. PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO DEL APLICATIVO.....	77
Actividad 3.1. Estudio para el desarrollo de la aplicación en su versión Pro	77
Actividad 3.2. Presentación oficial de en cada país.....	77
Actividad 3.3. Estudio de monitoreo de la experiencia de los usuarios con la aplicación	78



Resultados	79
COMPONENTE 1. DISEÑO DE UNA PLATAFORMA DE CÁLCULOS BASADA EN DATOS METEOROLÓGICOS Y ABIÓTICOS PARA REALIZAR PROYECCIONES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO.....	79
Actividad 1.1. Formulación de la plataforma de cálculos y escenarios de uso	79
Actividad 1.2. Formulación de un plan de negocio.....	79
Segmentos de mercado o clientes.....	79
Propuesta de valor.....	79
Canal de distribución.....	80
Relación con el cliente.....	80
Fuentes de ingreso.....	80
Recursos clave.....	80
Actividades clave.....	81
Socios clave.....	81
Estructura de costos.....	81
Actividad 1.3. Realización del taller inaugural del proyecto (Virtual).....	81
Colombia	81
Perú.....	84
TIPOS DE PRODUCTORES EN PERÚ.....	84
TIPOS DE TÉCNICOS EN PERÚ.....	85
República Dominicana	86
TIPOS DE PRODUCTORES DE REPÚBLICA DOMINICANA.....	87
TIPOS DE TÉCNICOS DE REPÚBLICA DOMINICANA	89
Análisis cuantitativo	93
Indicadores de actividad y cuantitativos.....	93
Indicadores de coocurrencia.....	93
Mapa temático de tendencias	94
Aplicativos o modelos similares en el mercado.....	94
Actividad 1.4. Estudio para el diseño de la versión inicial de la aplicación	98
COMPONENTE 2. DESARROLLAR UN ESTUDIO PARA LA VERSIÓN DEMO, CON FUNCIONALIDADES GENERALES.....	98
Actividad 2.2. Desarrollo de un estudio para la versión Demo de la aplicación	98
Actividad 2.3. Estudio de prueba de la aplicación Demo en campos de productores.....	98



FUNCIÓN 1: TASA POTENCIAL DE EMISIÓN DE HOJAS.....	99
FUNCIÓN 2: PERIODO DE FLORACIÓN A COSECHA.....	99
FUNCIÓN 2.1: FECHA APROXIMADA EN QUE OCURRIÓ LA FLORACIÓN.....	100
FUNCIÓN 2.2: FECHA APROXIMADA EN QUE SE DEBE COSECHAR.....	101
FUNCIÓN 3: PESO POTENCIAL DE RACIMO.....	101
FUNCIÓN 3.1: CON EL FIN DE VERIFICAR EL PESO ALCANZADO	101
FUNCIÓN 3.2: ESTIMACIÓN DEL PESO POTENCIAL DEL RACIMO Y DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO	102
FUNCIÓN 4: DEMANDA DE NUTRIENTES	102
FUNCIÓN 5: DEMANDA DE AGUA Y RIEGO	102
CONSIDERACIONES GENERALES DEL APLICATIVO.....	102
COLOMBIA	103
REPÚBLICA DOMINICANA	103
PERÚ.....	104
COLOMBIA	104
REPÚBLICA DOMINICANA	105
PERÚ.....	105
COLOMBIA	106
REPÚBLICA DOMINICANA	107
PERÚ	107
COLOMBIA	107
REPÚBLICA DOMINICANA	108
PERÚ.....	108
COLOMBIA.....	108
REPÚBLICA DOMINICANA	109
PERÚ.....	109
Actividad 2.4. Estudio para el desarrollo de mejoras de la aplicación Demo y del plan de negocio.	109
COMPONENTE 3. PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO DEL APLICATIVO.....	110
Actividad 3.1. Estudio para el desarrollo de la aplicación en su versión Pro	110
Actividad 3.2. Presentación oficial de en cada país.....	110
Actividad 3.3. Estudio de monitoreo de la experiencia de los usuarios con la aplicación	110



Indicadores Técnicos.....	112
Hallazgos Destacados.....	114
Historias en el campo	115
Colombia	115
Perú.....	115
República Dominicana	115
Discusión	116
Conclusiones	119
Recomendaciones.....	120
Referencias Bibliográficas.....	122

RESUMEN

En un periodo de 3 años, el proyecto AgTech ha logrado alcanzar todos sus objetivos. Los resultados destacados incluyen la exitosa formación del Hub-SmartFruit-ALC, una plataforma colaborativa con 27 representantes de instituciones nacionales e internacionales, tanto públicas como privadas, vinculadas a la cadena de valor frutícola. Este Hub ha sido el punto de encuentro para expertos, agricultores y empresas del sector, promoviendo la adopción tecnológica en el ámbito frutícola.

Se destaca el desarrollo de OpenFruit, una herramienta tecnológica colaborativa de libre acceso validada y adoptada con éxito. A pesar de los desafíos causados por la pandemia de COVID-19, el equipo pudo avanzar eficazmente en el proceso de diseño, implementación y validación de OpenFruit. Este sistema informático ha sido co-diseñado con la participación activa de usuarios potenciales, incluyendo productores y asesores frutícolas, con talleres de capacitación y estudios de campo realizados.

La revolución de la agricultura digital y cómo el proyecto AgTech busca llevar esta revolución a agricultores de pequeña y mediana escala en la región. El proyecto ha desarrollado una solución tecnológica accesible y robusta para medir la humedad del suelo, facilitando la toma de decisiones para agricultores en Colombia, Honduras y Nicaragua. Además, la solución ha recibido reconocimientos, demostrando un interés significativo en tecnologías de bajo costo y alto impacto.

Otro proyecto centrado en el riego y la agricultura familiar en Argentina, Nicaragua y Uruguay. Se destaca la innovación del Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR), una herramienta que aconseja sobre los tiempos y cantidades óptimos de riego utilizando datos climáticos, de cultivos, de suelo e imágenes satelitales. Este proyecto se enfoca en cultivos como algodón, alfalfa, fresa, pimienta, frijol y tomate, con especial atención a la gestión eficiente del agua.

El proyecto AHoRa se enfocó en la agricultura de musáceas (plátano y banano) en Colombia, Perú y República Dominicana. Destaca el desarrollo y la validación de una aplicación web-móvil que mejora la planificación y toma de decisiones agronómicas frente a la variabilidad climática. El aplicativo, denominado °AHoRa, ha sido vinculado a más de 1000 productores y 300 asistentes técnicos, ofreciendo módulos que abarcan desde la tasa potencial de hojas hasta la cantidad de agua requerida por la planta.

En resumen, estos proyectos AgTech han demostrado un compromiso exitoso con la innovación en la agricultura, promoviendo soluciones tecnológicas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la producción frutícola y agrícola en general en América Latina y el Caribe.

INFORMACIÓN RELEVANTE

Las propuestas que se presentaron a esta convocatoria presentaron de manera clara y detallada cómo se llevaría a cabo el desarrollo y la validación de prototipos de innovaciones AgTech, ya sean nuevos o existentes. Fue crucial que al final del período de cofinanciamiento, estas innovaciones estuvieran listas para ser escaladas comercialmente. Para ello, se requirió que las propuestas demostraran la viabilidad real de implementación, la validación en grupos representativos de destinatarios y la obtención de resultados tangibles, así como evidencias de su potencial impacto.

Financiamiento

Esta convocatoria contó con recursos propios de FONTAGRO, con un monto total de US\$800.000. FONTAGRO financiará hasta cuatro propuestas de soluciones AgTech, con un máximo de US\$200.000 cada una. Este financiamiento buscó respaldar iniciativas innovadoras que contribuyan al desarrollo sostenible de la agricultura en la región, promoviendo así la resiliencia climática y la mejora de las condiciones de vida de los agricultores familiares en América Latina y el Caribe.

AGTECH 1: HUB-SMARTFRUIT-ALC: SOLUCIONES INTELIGENTES PARA SISTEMAS FAMILIARES FRUTÍCOLAS ALC, EN EL ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO

ABSTRACT

During the 2.5-year execution of this project, we successfully fulfilled all committed deliverables (n=31). The key outcomes of this proposal include:

1. The formation of Hub-SmartFruit-LAC, which engaged with stakeholders from national and international, public and/or private sectors in the fruit value chain.
2. The development of a collaborative, free-access technology tool called OpenFruit, which has been validated and adopted successfully.

Despite the challenges posed by the COVID-19 pandemic in 2020 and 2021, which severely impacted face-to-face activities, the project continued to make significant progress.

Regarding Outcome 1, aligned with Component 1 of this proposal, the Hub-SmartFruit-LAC Human Platform currently consists of 27 representatives from participating institutions, as well as special, both permanent and temporary, national and international guests. These include stakeholders from both the public and private sectors related to the fruit value chain and AgTech solutions. Representatives from the productive sectors in Chile and Costa Rica are also part of this Hub, including expert researchers in climate change, environmental models, precision agriculture, pest management, irrigation control, and communication and information technologies. As a team, we have prepared the first Operational Manual for this Hub in Chile, aiming to facilitate knowledge transfer, social capital generation, and networking with key actors supportive of AgTech solutions in the LAC fruit sector. Further details about the formation and objectives of the Hub are described in related deliverables (Product 1, 2, and 3).

As for Outcome 2, the OpenFruit computer system, based on Web-GIS architecture, was developed through an interactive process involving the active participation of potential users and key members of the SmartFruit-LAC Hub. The system's design and development phases have been successfully completed. The co-design process for OpenFruit, in collaboration with associated fruit growers and advisors, included induction workshops on topics such as sustainable fruit growing and precision agriculture. To date, these efforts have trained a significant number of producers and/or professionals (~600). In recent months, the team has focused on implementing and validating OpenFruit through continuous monitoring and field studies with selected farmers (Products 19, 20, and 21). Additionally, we have been working on developing an informational platform to support training on OpenFruit usage (Products 22, 23, and 24). During the final year of this project, research was also conducted to create a Climate Change Vulnerability Index for orchards.

Keywords: AgTech Solutions, Fruticulture Sector, Satellite Indices

RESUMEN

Durante 2,5 años de ejecución de este proyecto, se logró dar cumplimiento total a todos los productos comprometidos (n=31). Los principales resultados de esta propuesta son: 1) Hub-SmartFruit-ALC articulado con actores nacionales, internacionales, públicos y/o privados de la cadena de valor frutícola; 2) Herramienta tecnológica colaborativa de libre acceso OpenFruit validada y adoptada exitosamente. A pesar de la situación sanitaria por COVID-19 que afectó la ejecución del proyecto durante el año 2020 y 2021, completando



fuertemente el desarrollo de actividades presenciales, el proyecto pudo avanzar exitosamente.

Respecto al Resultado 1, asociado al Componente 1 de esta propuesta, a la fecha la Plataforma Humana Hub-SmartFruit-ALC se encuentra exitosamente conformada por representantes (n=27) de las instituciones que forman parte del proyecto, como por invitados especiales, tanto permanentes como especiales, nacionales e internacionales, incluyendo la participación de actores del sector público y privado asociado de la cadena de valor frutícola y de soluciones AgTech. Forman parte de este Hub, representantes del sector productivo de Chile y Costa Rica, a través de mesas territoriales de trabajo, investigadores expertos en: cambio climático y modelos ambientales, agricultura de precisión, manejo de plagas, control de irrigación y tecnologías de la información y comunicación. Como equipo, hemos elaborado un Manual Operativo de este Hub, único en Chile, cuyo objetivo es propiciar la transferencia de conocimiento, generación de capital social y desarrollo de vínculos con actores claves que sustenten la adopción y creación de soluciones AgTech aplicadas al sector frutícola ALC. La conformación del Hub y sus propósitos se describieron en mayor detalle en los productos relacionados (Producto 1, 2 y 3). Por otra parte, durante la primera etapa de ejecución de este proyecto, se levantó y sistematizó información respecto de las brechas digitales de los productores frutícolas familiares de Chile y Costa Rica (Producto 9).

Respecto al Resultado 2, el diseño del sistema informático OpenFruit (arquitectura Web-SIG), se realizó mediante un proceso interactivo, que contó con la participación activa de los potenciales usuarios y los actores claves del Hub SmartFruit-ALC. Las etapas de diseño y desarrollo de OpenFruit finalizaron exitosamente. El proceso de co-diseño de OpenFruit, en colaboración con productores y asesores frutícolas asociados, consideró la realización de talleres de inducción a la temática abordada (fruticultura sustentable, agricultura de precisión, co-diseño de plataformas informáticas), a través del cual a la fecha se ha logrado capacitar a un alto número de productores y/o profesionales (~600). Durante los últimos meses de ejecución de este proyecto, el equipo trabajó fuertemente en el proceso de implementación y validación de OpenFruit, a través de un acompañamiento continuo y el desarrollo de estudios de campo con usuarios seleccionados (Productos 19, 20 y 21), y además, en la creación de una plataforma informática de capacitación para apoyar la transferencia tecnológica de OpenFruit (Productos 22, 23 y 24). Además, durante el último año de ejecución, se dedicaron esfuerzos al proceso de creación del Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático de los Huertos.

Palabras Clave: Índices Satelitales, Soluciones AgTech, Sector Frutícola.

ANTECEDENTES

La adaptación al cambio climático se puede definir como el rango de acciones que se toman en respuesta a cambios en las condiciones climáticas (Smith et al., 2000). El cambio frecuente de las condiciones climáticas genera grandes pérdidas económicas en el agropecuario. Costa Rica reporta un déficit hídrico de hasta un 50%, de igual modo en Chile, y en específico en la región de La Araucanía, el déficit hídrico alcanzó un 70% durante el período estival 2019. Esta variación climática genera un efecto negativo en el rendimiento y calidad de la fruta. Frente a este panorama, la necesidad de disponer de herramientas que ayuden a reducir el impacto del efecto del cambio climático toma una gran relevancia, especialmente para sistemas frutícolas familiares (SFF) de América Latina y El Caribe (ALC).

Con base al escenario anterior, las soluciones AgTech generan una alternativa tecnológica de valor para el sector frutícola en América Latina y el Caribe (ALC). Este proyecto propuso conformar una plataforma regional de innovación entre Argentina, Chile, y Costa Rica, denominada Hub SmartFruit-ALC. Esta plataforma se orienta a promover el desarrollo y adopción de soluciones tecnológicas basadas en agricultura de precisión para fortalecer la competitividad y sustentabilidad de sistemas familiares frutícolas (SFF) de ALC. La plataforma desarrollará una herramienta informática colaborativa y de libre acceso "OpenFruit" como tecnología de agricultura de precisión



a pequeños productores y asesores frutícolas de los países participantes. Esta herramienta apoyará la toma de decisiones del manejo agrícola para aumentar el rendimiento y promover el uso eficiente de recursos. Chile y Costa Rica liderarán las actividades de desarrollo tecnológico, validación, capacitación y transferencia, bajo la coordinación de la Universidad de La Frontera y la Universidad de Costa Rica. Las capacidades de ambas instituciones serán complementadas con las competencias del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la Universidad de Talca de Chile. Por su parte, la Universidad de Buenos Aires (Argentina), apoyará la implementación de aplicaciones tecnológicas en SFF. Se propiciará la articulación de un ecosistema de emprendedores AgTech y empresas vinculadas a la cadena de valor de la industria frutícola en torno al Hub SmartFruit-ALC, para promover el desarrollo de nuevas soluciones AgTech en base a información generada en OpenFruit. Este ecosistema contribuirá a la sustentabilidad y escalabilidad de la propuesta.

En el transcurso del siglo XXI, se proyecta que los efectos del cambio climático reducirán el crecimiento económico y debilitarán los esfuerzos por reducir la pobreza y la seguridad alimentaria (Field *et al.*, 2014). En ALC, la diversidad agroecológica y demográfica hace que las expectativas para las distintas regiones sean muy variadas. Se espera que al sureste de América del Sur la productividad se mantenga o incremente para mediados de siglo, mientras que en Centroamérica la productividad podría disminuir. Tanto el incremento de temperaturas como la disminución de las precipitaciones han superado los límites para alcanzar mayores márgenes de producción (Ordaz *et al.*, 2010). Según el Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI, realizado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, la temperatura promedio aumentará entre 2°C y 4°C en las zonas agrícolas del país. Dicho incremento, causaría además una sostenida disminución de las precipitaciones. En efecto, las modificaciones en la temperatura y otras variables climáticas generan un escenario de mayor demanda hídrica por parte de las plantas. Estas alteraciones climáticas, continuarán modificando las condiciones agroecológicas y edáficas de las zonas frutícolas tradicionales, y al mismo tiempo están ocasionando el desplazamiento de la fruticultura hacia el sur de Chile.

El presente proyecto generó la conformación de una plataforma regional de innovación (PRI) denominada *Hub SmartFruit-ALC*, entre Chile, Argentina y Costa Rica. Esta plataforma está constituida por universidades (UFRO y UTALCA de Chile, UBA de Argentina y UCR de Costa Rica), un instituto de investigación (INIA-Carillanca, Chile), servicios públicos (INDAP, Chile), una red de emprendedores AgTech (AP Software, Chile), una empresa de control de plagas (BIOFUTURO, Chile) y pequeños productores y asesores vinculados al sector frutícola (LONCOFRUT y CAPACITEC de Chile; Cooperparrita Tropical y Copecerroazul de Costa Rica). Chile y Costa Rica fueron los dos países beneficiarios directos, por tanto, en ambas regiones se ejecutarán las actividades de desarrollo tecnológico, validación, capacitación y transferencia consideradas en la propuesta, en conjunto a los pequeños productores y emprendedores de cada país. Ello dado que, a pesar de sus diferentes condiciones y especies frutales predominantes, las brechas productivas fueron similares, incluyendo problemas fitosanitarios y el manejo de irrigación.

El Hub SmartFruit-ALC incorporó a pequeños productores, asesores y extensionistas en el proceso de co-diseño, desarrollo y validación de las soluciones desarrolladas. Para ello, en Chile se trabajarán con al menos 130 pequeños productores de berries (60 de arándano alto y 70 de frambuesos) de la región de La Araucanía, entendiendo por pequeño productor a la persona natural que explota una superficie inferior a 12 ha de riego básico. En Chile, en La Araucanía se cultivan 2.000 ha de berries en alrededor de 395 explotaciones. En la región se producen 15.700 toneladas de arándanos y frambuesas, con ingresos medio de más de 40 millones de dólares. Argentina (UBA, Argentina) por su parte, debido a su alta experiencia en la transferencia de este tipo de tecnologías en la pequeña y mediana agricultura, proporcionará asistencia técnica. La UBA participó activamente en la construcción de lineamientos para actividades de capacitación, transferencia y diseño de modelo de negocios y escalabilidad. En Costa Rica, se incorporaron 2 cooperativas de pequeños productores, considerando 110 productores de naranja de la Cooperativa Copecerroazul y 30 productores de papaya de la Cooperparrita Tropical. De acuerdo con el último censo agropecuario (2014), existen 3.264 fincas que cultivan papaya, y 12.913 fincas que cultivan naranja.



La solución generada, permitió fortalecer la vinculación con emprendedores AgTech de las dos zonas geográficas. A la fecha, se dispone del apoyo e interés de una red de emprendedores de base tecnológica en Chile. Se espera que un futuro cercano, los emprendedores contribuirán al desarrollo de la herramienta *OpenFruit* desde una perspectiva de usuario y beneficiario, contribuyendo con su experiencia a la transformación del conocimiento científico en transferencia tecnológica, utilizando sensoramiento remoto. Además, la ejecución de este proyecto facilitó la articulación de un ecosistema emprendedor AgTech, el cual estableció vínculos con el *Hub SmartFruit-ALC* para promover el desarrollo de nuevas soluciones AgTech en base a los datos generados en *OpenFruit*, contribuyendo a la sustentabilidad y escalabilidad este proyecto.

OBJETIVOS

Objetivo General

El Objetivo principal de esta iniciativa es mejorar la productividad y uso eficiente de recursos en sistemas frutícolas familiares de Chile y Costa Rica, generando y promoviendo el uso de soluciones inteligentes basadas en agricultura de precisión y TICs, con miras a fortalecer la competitividad y sustentabilidad de productores familiares ALC en el escenario de cambio climático.

Objetivos Específicos

1. Conformar una PRI Hub SmartFruit-ALC propiciando la transferencia de conocimiento, la generación de capital social, y el desarrollo de vínculos con el ecosistema emprendedores que sustenten la creación de nuevas soluciones AgTech.
2. Propiciar la adopción exitosa de soluciones AgTech en SFF, a través de la generación e implementación de una herramienta tecnológica colaborativa de libre acceso "OpenFruit".

METODOLOGÍA

Componente 1. Conformación de la plataforma Hub Smart Fruit-ALC y articulación con el ecosistema de emprendedores AgTech.

El objetivo de este componente fue conformar una Plataforma Regional de Innovación (PRI) denominada *Hub SmartFruit-ALC* propiciando la transferencia de conocimiento, la generación de capital social, y el logro de vínculos con el ecosistema emprendedores para promover el desarrollo de soluciones *AgTech*.

Para ello, se realizaron las actividades de (i) formalizar la gobernanza y el funcionamiento del *Hub SmartFruit-ALC* y (ii) crear espacios virtuales de integración y articulación para productores SFF, emprendedores *AgTech* y otros actores de la cadena de valor frutícola, propiciando la generación de capital social y el compromiso con el fin del proyecto entre los co-ejecutores, asociados y actores clave. A la vez, se realizaron las actividades de (iii) promover la generación de soluciones *AgTech* complementarias a la herramienta *OpenFruit* y (iv) disponibilizar la prueba de concepto de *OpenFruit* para otras regiones de ALC, con el fin de contribuir a la sustentabilidad y escalabilidad de la propuesta.

El resultado de este componente fue la conformación de la plataforma *Hub SmartFruit-ALC* articulada con actores nacionales, internacionales, públicos y/o privados de la cadena de valor frutícola.

A continuación, se describen las actividades y metodologías aplicadas para obtener los productos asociados a este Componente:

Actividad 1.1. Conformación y formalización de la Gobernanza de la Plataforma "Hub SmartFruit-ALC". Se realizó un taller de arranque virtual que incluyó a los co-ejecutores y organismos asociados para formalizar la plataforma,



su estructura de gobernanza, y propiciar el intercambio de experiencias entre los distintos actores. Además, se realizó un proceso de reclutamiento (llamado a concurso) y de selección de capital humano (entrevistas), para complementar el equipo de trabajo en sus distintas áreas. Estas nuevas contrataciones participaron de un proceso de inducción. Posteriormente, se formuló un manual operativo conjunto, que detalla la implementación de esta iniciativa en Chile y Costa Rica. Se evaluó y seleccionó las herramientas digitales que apoyaron el trabajo a distancia, a nivel grupal e individual. Esta información fue incorporada en la metodología global de trabajo. En este ámbito, se identificaron las siguientes alternativas: i) coordinación del equipo en espacios de trabajo virtuales: correo electrónico y/o plataformas como Slack, Trello, MS Teams; ii) capacitación a distancia: Google Classroom, Moodle (UFRO), MS Teams; iii) ejecución de reuniones virtuales: Google Meet, Zoom (Reuna-UFRO), Teams; iv) Gestor de contenidos -GMS - del sitio web informativo (Wordpress, Joomla, Magento); v) difusión por redes sociales y tráfico hacia el sitio web del proyecto: Facebook, Twitter, Instagram, Mailchimp (email marketing para llegar a productores y emprendedores a través de Newsletters); vi) repositorio de documentos: Google Drive, Dropbox. Algunas de estas configuraciones fueron subcontratadas.

Producto 1. Plataforma "*Hub SmartFruit-ALC*" conformada.

Producto 2. Manual Operativo del *Hub SmartFruit-ALC* desarrollado.

Actividad 1.2. Articulación del Hub con productores SFF, emprendedores

AgTech y otros actores de la cadena de valor frutícola en Chile y Costa Rica. Se realizaron actividades virtuales de integración y articulación para actores clave de la propuesta con el fin de asegurar su participación activa y su compromiso con el *Hub SmartFruit-ALC*.

Para los productores y asesores SFF, se constituyeron Mesas Frutícolas Territoriales (MFT) en Chile y Costa Rica. Las reuniones de las MFTs, se ejecutaron de forma remota y periódica con representantes público-privados, entre ellos SFF, asesores y extensionistas, de academia y servicios públicos. El objetivo de esta instancia fue incorporar activamente a los productores y asesores SFF en el diseño, desarrollo y validación de la herramienta tecnológica *OpenFruit* (ver Componente 2), igual que en la organización y ejecución de las capacitaciones asociadas a la herramienta.

Se realizaron conversatorios virtuales con mujeres que forman parte de los SFF en ambos países ejecutores, con el objetivo de levantar información respecto de las Brechas de Género, actividad que se espera sea apoyada en el futuro por la recientemente creada Dirección de Equidad de Género de la Universidad de La Frontera.

Para propiciar la articulación con el Ecosistema de Emprendedores *AgTech*, se incorporaron representantes de la asociación AP Software y otros emprendedores en todas las fases del proyecto, lo cual contribuyó significativamente a establecer una colaboración recíproca sostenida en el tiempo. Se generaron diversas instancias remotas para promover la creación de redes entre los emprendedores, los productores SFF y otros actores de la cadena de valor frutícola. Estos eventos permitieron un trabajo colaborativo para identificar desafíos y/o problemáticas específicas de los distintos actores, lo cual apoyó la validación de la herramienta *OpenFruit*, lo cual impulsará el diseño futuro de soluciones complementarias a la herramienta por parte de los emprendedores *AgTech*.

Producto 3. Mesas Frutícolas Territoriales en Chile y Costa Rica conformadas y memoria de resultado de las mesas.

Producto 4. Eventos de networking virtuales en Chile y Costa Rica realizados y memoria de resultado de los trabajos colaborativos de los mismos.

Actividad 1.3. Promover el desarrollo de nuevas soluciones AgTech complementarias y/o basadas en la herramienta OpenFruit. En base a los desafíos y problemáticas identificados en las MFT y eventos de networking, se identificaron y evaluaron oportunidades de negocio y/o de innovación social para generar nuevas soluciones *AgTech*, complementarias, y/o basadas en los datos *OpenFruit*. Estas formaron parte del modelo de



sustentabilidad del Hub, elaborado con ayuda de profesionales subcontratados, durante la ejecución de este proyecto.

Producto 5. Nota técnica conteniendo la metodología de identificación y evaluación temprana de oportunidades de negocio *AgTech* creada.

Actividad 1.4. Disponibilización de metodologías y prueba de concepto *OpenFruit* para el escalamiento del Hub *SmartFruit-ALC*. La estrategia para el escalamiento del *Hub SmartFruit-ALC* se basó en la búsqueda de nuevos socios estratégicos en ALC, y el fomento a la generación de Hubs locales en cada país. Los socios de los nuevos Hubs locales, se vincularon estratégicamente con el *Hub SmartFruit-ALC*, creando un consorcio internacional entre los países participantes, velando por asegurar un capital social de tipo internacional y la transferencia de conocimiento al largo plazo. El proyecto permitió generar un “paquete” exportable con los resultados clave del proyecto, para su transferencia gratuita como bien público a dichas regiones. Se espera que, en un futuro próximo, las soluciones *AgTech* desarrolladas e implementadas de manera local (ej.: Chile, Costa Rica), puedan ser adaptadas para y por otros países ALC. Se logró transferir, a través de actividades remotas, la metodología de trabajo y su respectiva documentación: (1) del modelo del Hub y su funcionamiento; (2) de las metodologías de intervención dirigidas a SFF; (3) de los programas y material de capacitación; (4) de las metodologías para articular emprendedores *AgTech* con el *Hub SmartFruit-ALC*.

Producto 6. Modelo operativo para el escalamiento del *Hub SmartFruit-ALC* desarrollado, conteniendo el modelo de transferencia, metodologías documentadas y el paquete tecnológico.

Componente 2. Diseño, implementación y adopción de un sistema informático colaborativo *OpenFruit*.

El objetivo de esta componente fue propiciar la adopción exitosa de soluciones *AgTech* en SFF, a través de la generación e implementación de una herramienta tecnológica colaborativa de libre acceso *OpenFruit*.

Para ello, se realizaron las actividades de (i) inducción y (ii) creación de una línea base de datos en los huertos de Chile y Costa Rica. Además, durante esta etapa se trabajó activamente en: (iii) diseño colaborativo de un sistema informático *OpenFruit*, (iv) implementación de *OpenFruit* con productores SFF seleccionados en ambos países ejecutores e (v) investigación de campo en los predios de estudio, con el fin de lograr el (vi) desarrollo y validación de un modelo predictivo preliminar de adaptabilidad al cambio climático. Las actividades de este Componente finalizaron con (vii) talleres virtuales de estudios de casos utilizando la herramienta *OpenFruit* y (viii) el desarrollo de un programa de capacitación virtual respecto del uso y aplicaciones de la herramienta *OpenFruit*.

A continuación, se describen las actividades de este componente:

Actividad 2.1. Proceso de Inducción. Para asegurar la adopción de la herramienta *OpenFruit* por parte de los productores y asesores SFF de Chile y Costa Rica, se desarrolló un programa de capacitación virtual basado en talleres introductorios, el cual abordó los siguientes tópicos: presentación resumida del proyecto, manejo técnico-productivo frutícola, aplicaciones de agricultura de precisión en sistemas frutícolas y diseño colaborativo de sistemas informáticos. Con el propósito de garantizar el éxito de los talleres y determinar los requerimientos básicos de diseño de la interfaz de *OpenFruit*, tanto en Chile como en Costa Rica, se trabajó con asesores SFF y los productores con un apropiado nivel de conectividad. Esta información se obtuvo desde las bases de datos de brechas digitales disponibles en la gerencia de las agrupaciones de productores que participan en este proyecto (Capacitec y Loncofrut en Chile; Coopeparrita Tropical y Coopecerroazul en Costa Rica). En base a la información recopilada, un 30% de los productores de las agrupaciones de Chile y Costa Rica, disponían de un buen nivel de conectividad y conocimiento respecto de herramientas para la realización de capacitación virtual. En una etapa posterior a la ejecución del proyecto, los asesores, extensionistas y productores capacitados transfirieron el uso y aplicaciones de las soluciones generadas a un mayor número de productores y profesionales vinculados al Agro.

Producto 7. Talleres de inducción “Uso de TICs y Agricultura de Precisión aplicada a Fruticultura” realizados y

memoria técnica de los talleres.

Producto 8. Cantidad de productores capacitados por taller.

Producto 9. Diagnóstico de brechas digitales de los productores SFF completado.

Actividad 2.2. Creación de una línea base de datos en los huertos de Chile y Costa Rica. Se levantó información relacionada a la exposición y sensibilidad de los huertos al Cambio Climático. Para ello, se construyó una *Línea Base* con información de 270 huertos distribuidos en Chile (60 de arándanos y 70 de frambuesos) y Costa Rica (110 de naranjos y 30 de papayos), a fin de establecer los niveles de exposición de los predios al estrés climático. A partir de la ubicación geoespacial (polígonos), se establecieron los límites geográficos para cada huerto. Además, se estudió la magnitud y frecuencia de eventos climáticos extremos (precipitaciones, heladas tardías, alzas de temperatura, sequía) y su correlación con los índices satelitales. Cabe mencionar que esta actividad no consideró reuniones presenciales.

Producto 10. Nota técnica con información de Línea base creada.

Producto 11. Base de datos geoespaciales creada.

Producto 12. Documento científico “Integración de Línea Base con Datos Geoespaciales y propuesta de un Índice de Vulnerabilidad” preparado.

Actividad 2.3. Diseño colaborativo de un sistema informático *OpenFruit*. Se creó un sistema informático colaborativo *OpenFruit*, conteniendo una interfaz con arquitectura Web-SIG basada en un software de libre acceso y una aplicación para teléfonos celulares. El diseño fue optimizado mediante un proceso iterativo, que contó con la participación activa de los potenciales usuarios y los actores clave del *Hub SmartFruit-ALC*, a través del desarrollo de talleres de trabajo virtuales.

Producto 13. Talleres de capacitación “Diseño Colaborativo de Sistemas Informáticos” realizados y memoria técnica de los talleres.

Producto 14. Cantidad de usuarios capacitados por taller.

Producto 15. Plataforma informática *OpenFruit* diseñada.

Actividad 2.4. Implementación de *OpenFruit* con productores SFF seleccionados en Chile y Costa Rica. En primera instancia, se seleccionaron un total de 110 predios (huertos de estudio), 70 en Chile y 40 en Costa Rica, con los cuales se trabajó a través de la interfaz *OpenFruit*. La plataforma informática se implementó con 3 capas de información: (i) información obtenida a partir de imágenes satelitales de cada huerto, correspondiente a índices y firmas espectrales de la vegetación analizadas en estados fenológicos específicos; (ii) información meteorológica y edafoclimática de cada predio y, (iii) información primaria de los huertos, referida a la especie frutal, cultivar, año de establecimiento, diseño de plantación, fenología, aspectos de manejo agronómico, rendimiento y calidad de fruta, la cual se obtuvo a partir de las bases de datos disponibles en las gerencias de las agrupaciones de productores que participan en este proyecto y desde información entregada directamente por los productores. Con la información obtenida, se realizó la evaluación de indicadores de exposición, sensibilidad y adaptabilidad al Cambio Climático, para la construcción de un Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático, de acuerdo con los propuesto por Monterroso *et al.* (2012). Se espera que un futuro próximo, los productores SFF puedan acceder a la información antes descrita a través del acceso a *OpenFruit*, lo cual les permitirá aplicar medidas correctivas preventivas. A través de talleres de implementación virtuales (en Chile y Costa Rica), se levantó información referida a las potenciales brechas agronómicas y tecnológicas (manejo fitosanitario, nutrición y/o gestión hídrica intrapredial), que podrían explicar los bajos niveles de productividad y calidad detectados para algunos productores. Estos talleres fueron orientados a los productores, como también a asesores, extensionistas e investigadores del proyecto.



Producto 16. Talleres de implementación de la plataforma *OpenFruit* realizados y memoria técnica de los talleres.

Producto 17. Cantidad de usuarios capacitados por taller.

Producto 18. Plataforma *OpenFruit* implementada, incluyendo información de brechas agronómicas y tecnológicas de los huertos en estudio.

Actividad 2.5. Etapa de investigación de campo en huertos de Chile y Costa Rica. Se seleccionaron 3 huertos de experimentación tanto en Chile como en Costa Rica. Dichos predios debían haber evidenciado en años anteriores alguna problemática productiva, ya sea de tipo fitosanitaria, hídrica o nutricional, que haya limitado los rendimientos y/o la calidad de la fruta obtenida. Se obtuvo un diagnóstico de la condición suelo, planta y clima. Además de la evaluación de sintomatología visual en las plantas, se realizaron análisis químico/físico de suelos, análisis foliares y determinaciones fisiológicas y bioquímicas. Se analizó la información meteorológica y edafoclimática de cada huerto. Se recopiló información productiva y de manejo agronómico de los predios, la cual fue obtenida a través de la participación de los productores, en la herramienta *OpenFruit*. La información antes mencionada, se relacionó con la data obtenida a partir de imágenes satelitales, de drones habilitados con cámaras multiespectrales y de sensores portátiles (e.j. espectroradiómetros). Esta actividad permitió avanzar en la predicción y/o monitoreo de las problemáticas identificadas a través de información de Sensoramiento Remoto.

Producto 19. Documento científico del Modelo Predictivo Preliminar *OpenFruit* preparado.

Actividad 2.6. Desarrollo y validación de un modelo predictivo preliminar de adaptabilidad al cambio climático. Se avanzó exitosamente en el desarrollo de un Modelo Predictivo Preliminar de alerta de problemáticas productivas, empleando la información generada en las actividades descritas anteriormente (2.2 Línea Base, 2.4 Implementación de *OpenFruit*, 2.5 Etapa de Investigación). Esta actividad fue apoyada por actores claves del Hub y contó con la participación de todos los actores involucrados en la PRI. Para la validación del Modelo, se realizaron estudios de campo en los huertos de experimentación descritos en la Sección 2.3 (al menos 3 huertos por país). El modelo predictivo preliminar validado, permitirá generar mapas de vulnerabilidad climática, alertas de problemáticas productivas y notificaciones de manejo agronómico. Así, se prospecta que los productos generados en esta etapa permitirán a los SFF incrementar tanto la eficiencia de uso de recursos mediante estrategias sitio-específicas que consideren la variabilidad intrapredial, como sus niveles de productividad y calidad de fruto.

Producto 20. Taller “Desarrollo del modelo predictivo *OpenFruit*” realizado y memoria técnica del taller.

Producto 21. Documento científico “Validación del modelo *OpenFruit* y generación de mapas de vulnerabilidad” preparado.

Actividad 2.7. Talleres de estudios de casos utilizando la herramienta *OpenFruit*. Se realizaron talleres virtuales para productores y asesores de SFF orientados a la puesta en marcha de la herramienta *OpenFruit*, los cuales incluyeron el desarrollo de estudios de casos de problemáticas productivas tanto en Chile y Costa Rica. Estas capacitaciones, contaron con la participación de actores clave del Hub (investigadores, asesores, emprendedores *AgTech* y empresas conexas). Además, con la proyección de extender el uso del sistema informático en otras regiones o países miembros de FONTAGRO, se trabajó en una propuesta de capacitación, posible de ser adaptable a los factores locales de cada lugar. La validación de la accesibilidad y adopción exitosa de la interfaz se realizó en una muestra de al menos el 30% de los productores que participan en el proyecto de cada país. Además, se realizaron talleres en formato desafío (ej.: “Hackaton”), incluyendo el desarrollo ágil de soluciones a partir de *OpenFruit* por parte de emprendedores (ej.: micro-servicios), visualizando aplicaciones en toda la cadena de valor frutícola. Ello se realizó en alianza con organismos con experiencia en el ámbito (Temuco Smart City, incubadoras, entre otras).

Producto 22. Talleres de capacitación para la toma de decisiones agronómicas con uso de *OpenFruit* realizados y memoria técnica de los talleres.

Producto 23. Cantidad de usuarios capacitados por taller.

Actividad 2.8 Programas de capacitación respecto del uso y aplicaciones de *OpenFruit*. Se desarrollaron Programas de Capacitación Remotos en modalidad MOOC (Massive Open Online Course), destinados principalmente a asesores agrícolas, profesionales del Agro en formación y miembros del *Hub* (emprendedores *AgTech* y empresas asociadas a la cadena de valor de la industria frutícola), en los cuales se entrega información respecto del manejo de la herramienta *OpenFruit* y sus potenciales aplicaciones. Los programas de capacitación virtual constituirán un aporte importante y directo para el impulso de un Ecosistema Emprendedor *AgTech*, como también en su escalamiento.

Producto 24. Programas de capacitación para asesores agrícolas y emprendedores desarrollados.

Producto 28. ISTA año 1 (enviado el 02 de diciembre de 2020, aprobado).

Producto 29. ISTA año 2 (enviado el 02 de diciembre de 2021, aprobado).

Producto 30. Informe Técnico Final contra pago 5 (pendiente, previo a 31 de julio de 2023)

Producto 31. Informe Financiero Final Notarizado contra pago 5 (pendiente, previo a 31 de julio de 2023).

RESULTADOS

La Plataforma de Colaboración Hub SmartFruit ALC se encuentra conformada. Se ha realizado la elaboración y firma de un Acta de Conformación del Hub, donde hay 27 miembros inscritos, de los cuales el 70% han firmado. Además, se ha elaborado un Manual Operativo de la Plataforma, el cual ha sido validado por todos sus integrantes. A la fecha, el Hub se encuentra conformado por más de 23 integrantes, entre expertos, productores y asesores frutícolas, representantes de empresas asociadas al rubro frutícola, soluciones de agricultura de precisión y TICs, además de representantes de instituciones públicas de cada país. La articulación con actores clave ha sido exitosa, permitiendo el encuentro de quienes buscan soluciones, con quienes las ofrecen.

Por otra parte, este Hub prospecta facilitar el proceso de adopción tecnológica de soluciones *AgTech* en el sector frutícola, lo mismo que la creación de nuevas soluciones. La conformación del Hub se comunicó a la comunidad universitaria, académica, empresarial y organismos públicos de Chile y Costa Rica, a través de la realización de un evento de difusión, el cual resultó del todo exitoso.

Actualmente, nuestra plataforma está conformada por representantes de Chile, Argentina, Costa Rica y Colombia, incluyendo la participación de un líder de Proyecto Fontagro en Chile (Dr. Claudio Balbontín, INIA) en el corto plazo se sumará el Dr. Juan Miguel Ramírez-Cuesta, de CSIC-Murcia, España; quien investiga activamente respecto de las aplicaciones del sensoramiento remoto para el manejo de irrigación en sistemas frutícolas. Por otra parte, el sistema informático *OpenFruit*, que, a través de la integración de información meteorológica, satelital y productiva de los huertos, permitirá apoyar la toma de decisiones de los productores frutícolas, se encuentra diseñado y en etapa inicial de desarrollo (20% de avance). En paralelo, se construyó la base de datos de la plataforma *OpenFruit*, que considera información de diferentes variables bio-físicas obtenidas desde sensores satelitales, como también información meteorológica, edafoclimática y caracterización agronómica y de brechas digitales, para cada unidad productiva en Chile y Costa Rica. Esta base de datos se creó bajo un modelo de Entidad-Relación, con una arquitectura geoespacial. El proceso de co-diseño no ha sido fácil debido a que las reuniones de trabajo han sido remotas, no obstante, se ha logrado el propósito.

A la fecha, todos los productos comprometidos fueron enviados y aprobados por el la STA de Fontagro. Para algunos de estos productos, fueron sugeridas mejoras, las cuales fueron incorporadas por el equipo de trabajo.

Es importante destacar que para el desarrollo del producto 19, se realizó un levantamiento de información productiva (sintomatología visual, propiedades de suelo, análisis foliares, brechas productivas, información de manejo agronómico), climática/meteorológica y de imágenes satelitales de 19 cuarteles pertenecientes a 12

productores frutícolas vinculados al proyecto (arándano alto y frambuesa). La integración de la información recopilada permitió demostrar que los productores, por lo general, aplican dosis de riego que distan significativamente de lo recomendado por la plataforma, y que varios de los huertos, exhibe problemas de toxicidad o deficiencia de nutrientes, a causa de un manejo inapropiado de la fertilización.

Por otra parte, en Costa Rica, durante la misma temporada (2021/2022), se trabajó en la comparación de los resultados de análisis químicos foliares del cultivo de papaya con relación a dos índices de vegetación, obteniendo interesantes resultados.

En lo que respecta a la Actividad 2.6, para la validación del Modelo desarrollado, se realizó un estudio en 8 huertos de SFF (4 de arándano y 4 de frambuesa). Para ello, se definieron unidades experimentales, tratamientos y sistemas de bloqueo a partir de georreferenciación espacial de los polígonos identificados, lo cual permitió posteriormente evaluar distintas variables relacionadas al vigor y productividad de la planta y distintos índices espectrales monitoreados a través de la plataforma OpenFruit. En todos los huertos en estudio, se recolectaron muestras de hojas, raíces y yemas, con la finalidad de determinar el contenido mineralógico, contenido de arginina y almidón respectivamente. Esto permitió relacionar y validar los índices espectrales con el vigor y estado nutricional e hídrico de las plantas.

INDICADORES TÉCNICOS

Indicadores	Cantidad
Número total de actores que participan de las actividades organizadas por el Hub SmartFruit	40
Número de Mesas Frutícolas Territoriales conformadas.	2
Número de participantes en las Mesas Frutícolas Territoriales, incluyendo un desglose de participación por género.	18
Número total de asesores SFF que completan el programa de capacitación (75% asistencia mínima), incluyendo un desglose de participación por género.	8
Número de acuerdos de colaboración entre los actores del HUB firmados.	1
Número de talleres de lanzamiento del proyecto realizados.	2
Número de manuales operativos sobre el funcionamiento del HUB generados.	1
Número de eventos "Mesas Frutícolas Territoriales" realizados.	8
Número de eventos de networking organizados.	2
% de avance disponibilización del modelo Hub SmartFruit	100
Número de productores y asesores que participan en el diseño OpenFruit. N° de productores que participan en levantamiento de información primaria, incluyendo un desglose de participación por género.	270
Número Talleres de inducción sobre el uso básico de TIC's	6
Línea base diseñada	2
Herramienta informática de Open Fruit desarrollada.	1
Sistema OpenFruit implementado	1
Número de unidades experimentales desarrolladas	8

HALLAZGOS DESTACADOS

La conformación del Hub-SmartFruit-ALC, ha permitido la articulación con actores claves, lo cual ha favorecido la ejecución de este proyecto de manera substancial. Este punto de encuentro y colaboración ha permitido a todos sus integrantes identificar las problemáticas contingentes y avanzar en la dirección correcta, sin duplicar esfuerzos. La creación de este Hub ha sido bien valorada por todas las partes, recociendo a la instancia como una oportunidad para la creación y apoyo a la adopción tecnológica.

El trabajo del equipo, a pesar de la modalidad remota de trabajo durante un período, ha sido armónico, grato y fructífero. Los productores y asesores frutícolas vinculados al proyecto han mantenido su interés en continuar siendo parte de esta iniciativa, lo cual ha sido posible gracias al constante acercamiento y contacto que el equipo ha tenido con ellos y a la realización de actividades de investigación que hoy les permite mejorar su nivel de información respecto de sus sistemas productivos. La información generada, se comparte con nuestros productores, lo cual ha sido clave.

La Plataforma OpenFruit, constituye una herramienta bien valorada por los usuarios, de fácil utilización, que permitirá mejorar la eficiencia de irrigación de huertos frutícolas y que a la vez ha permitido levantar un diagnóstico respecto al nivel de productividad, calidad y tecnología de los huertos en estudio, el cual ha dejado en evidencia que los productores pequeños de los países en estudio no aplican prácticas eficientes y apropiadas de riego y fertilización.

Nuestro proyecto es bien valorado por el Gobierno Regional de ambos países ejecutores, siendo reconocido como una instancia que facilita la transferencia de conocimiento, la innovación y la adopción tecnológica. La ejecución de reuniones de trabajo con los integrantes del Hub y nuestros productores, han sido planificadas con tiempo y dedicación por parte del equipo, identificando en cada caso los puntos de tabla e hitos. Estas instancias de trabajo han sido concretas y eso es valorado por quienes han participado).

En el contexto del proyecto, se ha generado y avanzado en la creación de un Índice de Vulnerabilidad a Cambio Climático. Esta herramienta, la cual no existía para el sur de Chile ni Costa Rica, permitirá orientar la toma de decisiones y las políticas públicas al momento de direccionar los esfuerzos en investigación, desarrollo e innovación.

HISTORIAS EN EL CAMPO

1. *“Desde el inicio de la ejecución del Proyecto, se realizaron diversas visitas a los huertos de los productores asociados al proyecto, durante las cuales siempre se detectó una buena recepción por parte de los productores. Durante estas instancias, se logró levantar información productiva, de suelo y nutricional, de alto valor, desconocida por los beneficiarios, lo cual permitió posteriormente levantar un diagnóstico, no solo productivo sino también de brechas tecnológicas y uso de soluciones tecnológicas”.*

Alejandra Ribera Fonseca

Ingeniero Agrónomo

Centro de Fruticultura, Universidad de La Frontera

Directora del Proyecto Fontagro AgTech19056



2. *“Durante la ejecución del proyecto, hemos podido fortalecer redes de colaboración público privadas en favor de las cooperativas y agricultores de Sistemas Frutícolas Familiares. La participación en capacitaciones del proyecto y plataforma OpenFruit, hemos podido conocer las ventajas de los sistemas de información de percepción remota y su aplicación a nivel predial. Además, las capacitaciones con especialistas de INIA y la Universidad de La Frontera y La Universidad de Buenos Aires, han permitido profundizar en nuestro conocimiento en cuanto al riego, y uso de TICs, lo que nos permitirá ser más eficientes a nivel productivo. En general ha sido muy positiva la experiencia en la participación del proyecto junto con las 2 cooperativas de la comuna Padre Las Casas, para avanzar en el uso de tecnologías y su aplicabilidad”*

Helvia Chepo Huichalaf

Ingeniero Agrónomo

Ejecutivo integral del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)

Padre Las Casas, Chile

3. *“Desde la realización de los primeros talleres de Inducción, un productor perteneciente a una cooperativa de arándanos presentó gran interés en adoptar las soluciones propuestas en el proyecto. Por lo que participó activamente de todas las instancias de capacitación e implementación de la Plataforma OpenFruit, además de ser uno de los productores que dispuso su predio como huerto piloto. Esto permitió tener una estrecha asesoría durante el periodo productivo, lo que facilitó identificar variaciones de uno de los índices espectrales (NDV) en su huerto. Al realizar la visita en terreno, se logró identificar que las plantas presentaban una baja productividad debido a un periodo de déficit hídrico debido a fallas en su sistema de riego tecnificado. En efecto, el productor generó un plan de acción para realizar una modificación localizada en su sistema, logrando así, recuperar y aumentar el vigor y productividad de su huerto”*

Ariel Muñoz Alarcón

Ingeniero Agrónomo, Centro de Fruticultura, Universidad de La Frontera

Coordinador de Operaciones del Proyecto Fontagro AgTech19056

DISCUSIÓN

La discusión técnica de cada producto puede ser revisada en el documento de los productos respectivos, los cuales han sido entregados en su mayoría en el formato de notas técnicas.

La vinculación y colaboración es vital para el desarrollo de los SFF en América Latina y el Caribe, esto debido a los múltiples factores que influyen no solo a nivel productivo, sino a nivel de desarrollo, sustentabilidad y uso eficiente de los recursos naturales. En este proyecto, se logró identificar las diferentes ofertas que existen en el mercado para avanzar en la incorporación de soluciones AgTech al mundo agrícola, sin embargo, muchas de estas soluciones no se conectan ni articulan con los SFF. La importancia de esta iniciativa se relaciona en la articulación de productores, cooperativas y extensionistas, con empresas generadoras de soluciones AgTech e instituciones públicas que acompañan a los productores. Finalmente, permite avanzar identificando la realidad productiva, las brechas y dolencias que impactan sobre el desarrollo de una fruticultura en contexto de cambio climático.

La innovación generada en este proyecto es el Sistema Informático OpenFruit, plataforma que se encuentra diseñada e implementada. Detalles respecto de las características y diseño de este software, se pueden revisar en los productos asociados. Además, se ha trabajado en la creación de un Índice de Vulnerabilidad para el Cambio Climático. Actualmente, este recurso no existe para la zona sur de Chile ni para Costa Rica, por lo que su desarrollo permitirá apoyar la toma de decisión a nivel productivo y orientar las políticas y recursos públicos.

CONCLUSIONES

Al término formal del proyecto, el proyecto logró un 100% de ejecución. A pesar de las diversas problemáticas de contingencia sanitaria que afectaron la ejecución de actividades presenciales, tanto de capacitación como de investigación, los productos comprometidos se lograron obtener en el tiempo propuesto, siendo en general bien evaluados por la STA de Fontagro.

La proyección actual del proyecto apunta a extender las actividades asociadas a estudios de validación de la plataforma OpenFruit y la construcción de Mapas de Índices de Vulnerabilidad al Cambio Climático para sistemas frutícolas ALC, para lo cual se pretende postular a futuras convocatorias del programa. La plataforma OpenFruit, tiene un potencial uso para diversos cultivos y productores, por lo que será valiosa la continuidad y sustentabilidad de una nueva etapa. Asegurando la adopción y transferencia de esta tecnología como un componente de éxito para propuesta de objetivos.

Existen brechas importantes que se requiere cubrir a nivel nacional, tanto para Chile como Costa Rica. Esto, asegurará el éxito de la incorporación de soluciones AgTech en los SFF.

Debido a las instancias coordinadas en el proyecto de Networking, se ha logrado apreciar de forma práctica como la colaboración y la generación de capital social favorece el desarrollo de los SFF y la búsqueda de soluciones AgTech. Esto debido al acercamiento de la academia y el sector público-privado hacia los productores.

La ejecución de este proyecto permitió además la creación de la Plataforma Humana HUB-SMART FRUIT ALC, y de Mesas Territoriales AgTech Frutícolas, cuyo propósito es propiciar y facilitar el desarrollo y uso de tecnologías AgTech para el desarrollo frutícola de países de Latinoamérica y el Caribe.

RECOMENDACIONES

El equipo confirma la importancia de realizar un plan de trabajo organizado para las reuniones de las mesas territoriales con productos y el Hub, a modo de potenciar los resultados y avances del proyecto en cada instancia de encuentro. Además, es importante contar con herramientas que permitan animar a los miembros de las Mesas AgTech y el Hub, ya que, en ocasiones, se ha dificultado reunir a los miembros del Hub.

Además, se considera relevante realizar un mayor número de eventos de difusión del proyecto y encuentros ciencia-empresa. En general, el trabajo del equipo ha sido coordinado y organizado, lo cual se ha logrado mediante la realización de reuniones de trabajo semanales. Fue importante contratar a un profesional de apoyo en Costa Rica, ya que esto permitirá finalizar las actividades en este país.

Trabajar en la generación de un Índice de Vulnerabilidad para el Cambio Climático es un gran desafío, ya que no sólo se requiere implementar una herramienta que no existe, por lo que para visibilizar este trabajo se incorporó este recurso a la plataforma OpenFruit. Esto consideró jornadas de trabajo de la empresa desarrolladora de software y del equipo de investigadores, específicamente para definir el componente de capacidad adaptativa y visualizar metodologías que favorezcan el proceso de adopción tecnológica.

Para lograr obtener algunos de los productos comprometidos, se tomó la decisión de sub-contratar a profesionales especialistas. Esta estrategia se utilizó para la realización de eventos de networking presenciales y para la generación del modelo de sustentabilidad del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Departamento de Geofísica Universidad de Chile, 2016. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. http://dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442_pdf_Estudio_texto.pdf

Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir y L.L. White (eds.) 2014. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press / Cambridge, Reino Unido / Nueva York.

Monterroso, A., Conde, C., Gay, C., Gómez, J., López, J. 2012. Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México. En: Cambio climático. Extremos e impactos: [Ponencias presentadas al VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología] / coord. por Concepción Rodríguez Puebla, Antonio Ceballos Barbancho, Nube González Reviriego, Enrique Morán Tejeda, M. Ascensión Hernández Encinas, 2012, ISBN 978-84-695-4331-3, págs. 881-890. Texto completo disponible en: INDICADORES DE VULNERABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA DE MÉXICO.

Ordaz, J.L., J. Mora, A. Acosta, B. Serna Hidalgo y D. Ramírez. 2010. "Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura", Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.

Smit, B., I. Burton, R.J. Klein y J. Wandel. 2000. "An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability", Climatic Change, vol. 45, núm. 1, pp. 223-251.

AGTECH 2: DIGITALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PEQUEÑA ESCALA

ABSTRACT

The digital and 4.0 agriculture revolutions have changed the decision-making landscape in agricultural operations. Not only do they allow us to collect and visualize data in real time, but they also allow us to collect data that was unimaginable a few years ago. However, small, and medium scale farmers have been excluded from this revolution, mainly because they are not an attractive target market for the developers of these technologies. The AgTech 19043 project set out to change this situation and bring the revolution of digital agriculture to all small and medium- scale farmers in the region. For this, a diagnosis of the use of digital agriculture technologies and a technological surveillance was carried out, a technological solution was developed that allows measuring soil moisture that is robust, low cost and highly usable, and its operability, was validated through a participatory methodology with farmers from Colombia, Honduras, and Nicaragua. The technological solution developed and the resources accompanying it are generally perceived as easier to use than the alternatives, at a lower cost, and as allowing easier decision- making. Therefore, the technological solution has a high probability of adoption in the commercial stage. Finally, the awards received by the project show great interest for the development of low-cost, high-impact technologies among extension and cooperation agencies.

Keywords: digital agriculture, soil moisture, Rogers, human-centered design, adoption.

RESUMEN

La revolución de la agricultura digital y 4.0 ha modificado el proceso de toma de decisiones en las operaciones agrícolas. No únicamente permite tomar y visualizar datos en tiempo real, sino que nos permite recoger datos inimaginables hace algunos años. Sin embargo, los agricultores de pequeña y mediana escala se han visto excluidos de esta revolución, principalmente porque no son un mercado meta atractivo para los desarrolladores de estas tecnologías. El proyecto AgTech 19043 se propuso como objetivo cambiar esta situación, y llevar la revolución de la agricultura

4.0 a todos los agricultores de pequeña y mediana escala de la región. Para esto se realizó un diagnóstico de uso de tecnologías de agricultura digital y una vigilancia tecnológica, se desarrolló una solución tecnológica que permite medir humedad de suelo que es robusta, de bajo costo y alta usabilidad, y se validó su operatividad mediante una metodología participativa con agricultores de Colombia, Honduras y Nicaragua. La solución tecnológica desarrollada, y los recursos que la acompañan, de forma general son percibidos como más fáciles de usar que las alternativas, de menor costo, y que permiten tomar decisiones con mayor facilidad. Por lo tanto, la solución tecnológica cuenta con alta probabilidad de adopción en la etapa comercial. Finalmente, los reconocimientos recibidos por el proyecto demuestran mucho interés por el desarrollo de tecnologías de bajo costo y alto impacto entre organismos de extensión y cooperación.

Palabras Clave: agricultura digital, humedad de suelo, Rogers, diseño centrado en el humano, adopción.

ANTECEDENTES

Se estima que, dependiendo del país, entre el 75 y el 93% de las explotaciones agrícolas en América Latina pertenecen a agricultura familiar o de subsistencia (Salcedo y Guzmán, 2014). Debido a su importancia en la generación de empleo y seguridad alimentaria, este tipo de agricultura es vital para la estabilidad de la región. Estos sistemas se caracterizan por bajos niveles de tecnología y mecanización, y por tanto suelen depender de los patrones de las lluvias.

Uno de los principales síntomas del cambio climático son las modificaciones de los patrones habituales de lluvias, haciendo más difícil la planeación de las fechas de siembra en los sistemas de agricultura de pequeña escala. Por tanto, el riesgo de pérdidas de cultivos asociados a estos sistemas es alto, ya que los cultivos tienen una dependencia alta no solo de las lluvias, sino también de la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos. En dicho contexto, las opciones que les quedan a estos productores para seguir siendo productivos y rentables son las prácticas de manejo climáticamente inteligentes, y en particular las que permiten un mejor manejo de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Pero ¿cómo saber qué prácticas serían la más indicadas?, y, ¿qué capacidad de retención de agua tiene un suelo? Para lograr una apropiada implementación de dichas prácticas, lo ideal es conocer en detalle las características y el comportamiento de los suelos trabajados.

La metodología tradicional para evaluar el comportamiento hídrico de un suelo es el balance hídrico. Tomando en cuenta variables como precipitación, temperatura, radiación, viento, y variables de suelo como textura y profundidad efectiva, se calcula una estimación de cuánta agua puede retener el suelo en determinado momento. Esta metodología permite determinar si un suelo está por fuera de los límites de humedad, que son el encharcamiento y el punto de marchitez permanente. Ambos límites resultan en situaciones de estrés hídrico en las plantas y por ende efectos negativos en la producción del cultivo.

En la actualidad, con el auge de los sensores conectados, tenemos nuevas opciones para evaluar el estado hídrico del suelo, incluso en tiempo real. Los sensores se han vuelto más pequeños, eficientes y económicos, permitiendo la implementación de soluciones tecnológicas para el seguimiento directo de la variable de humedad del suelo, removiendo el error asociado a la estimación por medio del balance hídrico.

En el mercado existen una variedad de sensores para la medición de humedad de suelo, de distintos principios de medición, tales como los sensores de reflectometría, capacitancia y/o volumétricos, los cuales se encargan de expresar en diferentes términos (unidades) la cantidad de agua que se encuentra disponible en el suelo para la planta. El costo de los sensores de humedad de suelo de mediciones confiables oscila entre 30 dólares y 900 dólares, de acuerdo con sus características de resolución, exactitud, robustez, principio de medición y marca, entre otras características. Adicionalmente al costo del sensor, es necesario tener en cuenta el costo de la tecnología complementaria que permite brindar capacidades de autonomía, almacenamiento y protección, así como los costos de la estructura o sistema de soporte o instalación de este en campo. Los costos adicionales se estiman entre 300 y 600 dólares americanos.

Teniendo en cuenta los altos costos de implementación de la tecnología y limitaciones como acceso a internet o electricidad de las zonas rurales, en este proyecto se consideró una modificación de la tecnología vigente, que permita garantizar bajos costos y óptima respuesta en la medición de humedad de suelo. Se trabajó en un diseño y fabricación especial, que incluyó el desarrollo de un sistema electrónico de bajo consumo de energía y un sistema de carga de larga duración para el sensor de humedad de suelo, efectivamente llevando la tecnología de medición de humedad de suelo a su versión de mínimo producto viable. El desarrollo propuesto omitió el componente de conectividad en tiempo real, tanto para disminuir costos como para simplificar su



implementación.

La solución tecnológica aquí presentada, es un dispositivo o solución tecnológica que permite medir humedad de suelo, que es robusto, de bajo costo y alta usabilidad. Además de la solución tecnológica, se desarrolló una aplicación para descarga y visualización de datos, y un manual de prácticas de manejo de humedad de suelo, que son de acceso abierto. El ecosistema de la solución tecnológica desarrollada en el proyecto AgTech 19043 de Digitalización de la Agricultura de Pequeña Escala, busca eliminar las principales barreras de adopción de tecnologías de agricultura digital, y llevar así la revolución de la Agricultura 4.0 a los agricultores de pequeña y mediana escala de América Latina.

OBJETIVOS

Objetivo general

Mejorar las tecnologías basadas en agricultura climáticamente inteligente, para productores en Colombia, Honduras y Nicaragua, mediante el desarrollo de una solución tecnológica para medir humedad de suelo de bajo costo, alta usabilidad, robusta y adaptada a agricultores de pequeña y mediana escala

Objetivos específicos

1. Elaborar un diagnóstico del estado actual del uso de sensores y su impacto en la competitividad de la producción de medianos y pequeños productores.
2. Implementar la solución tecnológica en campo con productores de Colombia, Honduras y Nicaragua.
3. Elaborar un plan de negocio que facilite la sostenibilidad de la solución tecnológica desarrollada.
4. Implementar una estrategia de gestión del conocimiento y fortalecimiento de capacidades.

METODOLOGÍA

El proyecto de Digitalización de la Agricultura de Pequeña Escala se dividió en cuatro componentes para su ejecución. El componente 1 consistió en el diseño de una solución digital, bajo escenarios biofísicos y de arreglos institucionales diferentes. El componente 2 consistió en el desarrollo e implementación de la solución digital en fincas de productores en los países de interés. El componente 3 consistió en el desarrollo del plan estratégico para el escalado. Finalmente, el componente 4 consistió en la gestión del conocimiento. A continuación, se detallan la metodología seguida en cada uno de los componentes, desagregada por actividad.

Metodología del componente 1: Diseño de la solución digital, bajo escenarios biofísicos y de arreglos institucionales diferentes.

El componente uno tenía como objetivo caracterizar y elaborar un diagnóstico del estado actual del uso de sensores y su impacto en la competitividad de la producción de medianos y pequeños productores de Colombia, Honduras y Nicaragua. Este componente se dividió en cinco actividades.

Actividad 1.1: Levantamiento de requerimientos a nivel de productores y de instituciones locales para la implementación de la solución digital en Colombia, Honduras y Nicaragua.

Para el cumplimiento de esta actividad se desarrolló una encuesta que se aplicó a productores para caracterizarlos en cuanto a cultivo y prácticas agronómicas, y diagnosticar su conocimiento y uso de tecnologías digitales. Para esto, se desarrolló una encuesta que fue revisada y validada por el equipo del proyecto. La



aplicación de la encuesta se hizo a través de encuestas presenciales con productores asociados al proyecto, usando versiones impresas y digitales de la encuesta. Se recolectó información de 73 productores de Colombia, Honduras y Nicaragua.

Adicionalmente, como parte de esta actividad se llevó a cabo un mapeo de actores a la implementación de tecnologías digitales siguiendo la metodología de Fürst et al. (2015). El mapeo de actores se limitó a la región de interés del proyecto en cada uno de los tres países. Esta metodología consiste en seis fases y da como resultado una visión acotada de los actores presentes, sus características y relaciones.

Actividad 1.2: Establecer la metodología, diseño experimental e indicadores objetivamente verificables relacionados a la adopción de la solución tecnológica.

A partir del marco conceptual de Rogers (2003) de difusión de innovaciones se definió el sitio de estudio, población meta, e instrumentos cuantitativos y cualitativos para medir la intención de adopción de la solución tecnológica. Según la metodología de Rogers (2003), será más probable que se adopte una innovación cuando esta es percibida como mejor con respecto a las alternativas existentes, cuando se perciba que comulga con los valores y creencias de los usuarios potenciales, y cuando sea percibida como menos compleja que las alternativas (toma de decisiones y uso fáciles). Adicionalmente, será más probable que haya adopción cuando la innovación pueda ser probada por los usuarios potenciales y que los beneficios de su uso puedan ser observados. El instrumento cuantitativo consistió en una encuesta en línea y el cualitativo de grupos focales. La población meta de la encuesta fue agentes de extensión y técnicos de campo, mientras que la población meta del grupo focal los agricultores que participaron de las pruebas de campo participativas de la solución tecnológica.

Actividad 1.3: Análisis de tecnologías para responder a las necesidades identificadas.

Para identificar y analizar las tecnologías vigentes en el mercado se utilizó la metodología general de Investigación, Desarrollo e Innovación de Visualiti SAS, organismo co-ejecutor de este proyecto. La metodología consiste en nueve pasos que a través de un proceso de vigilancia tecnológica permite analizar, filtrar e identificar alternativas deseables para su adaptación o mejora. Esta actividad permitió identificar las sondas para medir humedad de suelo que pudieran contribuir a desarrollar una solución tecnológica económica, robusta y de alta usabilidad (Caro et al., 2022).

Actividad 1.4: Diseño de la solución digital

A partir de la información generadas con la vigilancia tecnológica, experiencia de los expertos, y una actividad de visualización creativa con agricultores beneficiarios, se diseñó tres prototipos que fueron evaluados en condiciones controladas y de campo (Bulla et al., 2022).

Actividad 1.5: Desarrollo de un módulo de generación automática de reportes.

La metodología propuesta por el equipo del proyecto para el desarrollo del módulo de generación de reportes consistió en los pasos: (1) listado de roles de usuario, (2) lista de requerimientos funcionales y no funcionales, (3) diagrama de flujo del procesamiento de datos, y (4) listado de restricciones a considerar. Este proceso de desarrollo se gestionó en un marco ágil de gestión, con un total de seis iteraciones para el desarrollo de la herramienta de visualización de datos (Gómez et al, 2023).

Metodología del componente 2: Desarrollo e implementación de la solución tecnológica en fincas de productores de los países de interés.

Actividad 2.1: Desarrollo y prueba piloto de los prototipos de sensor para medir humedad de suelo.

Para el desarrollo de esta actividad, se utilizó un diseño cuasi experimental, donde se seleccionó dos sitios, uno en Colombia y uno en Honduras, para las pruebas de los prototipos en campo. La selección de la ubicación de los sitios de prueba se hizo por conveniencia, tratando de instalar los sensores en la mayor variedad de texturas de suelo posibles. Los prototipos fueron evaluados según su precisión, exactitud y costo, con respecto a un dispositivo de referencia ampliamente usado en la producción agrícola. La metodología de valoración consistió en un ranqueo de los prototipos según las medidas antes descritas (González et al., 2022).

Actividad 2.2: Fabricación del dispositivo implementado con los productores.

Esta actividad consistió en el análisis de los resultados de las pruebas piloto de los prototipos, discusión del equipo técnico, y elaboración y réplica de un diseño final (Bulla et al., 2022). Este diseño final fue utilizado para la validación de la solución tecnológica mediante una metodología participativa.

Actividad 2.3: Instalación y seguimiento participativo de la solución tecnológica en campo.

Luego del diseño final de la solución tecnológica se procedió a la elaboración de 90 réplicas, para distribuir 30 en cada país entre productores participantes del proyecto. Primero se realizó un taller inicial con productores y técnicos, donde se expuso esta etapa del proyecto y presentó el plan para el despliegue y seguimiento de los dispositivos en campo. Después del taller inicial se procedió a la instalación de 30 dispositivos en cada país. Se hizo un monitoreo del estado y funcionamiento de los dispositivos aproximadamente a la mitad del ciclo de cultivo de cada productor. Además de la revisión de los dispositivos, se hizo recolección de datos de los dispositivos y recolección de prácticas de manejo de los cultivos.

Actividad 2.4: Colecta de datos con información de los ciclos de siembra de los productores y búsqueda de información secundaria.

Durante el período en que los dispositivos estuvieron instalados en las fincas de los productores, se hizo seguimiento a las prácticas agronómicas e información del cultivo donde estuvieron instalados los dispositivos. Paralelo a la recolecta de información de los productores, se buscó e identificó bases de datos secundarias que pudieran usarse de forma complementaria a la información generada por los dispositivos, principalmente con información climática.

Actividad 2.5: Procesamiento y análisis de los datos de humedad de suelo, junto con los ciclos de cosecha e información secundaria.

Los datos fueron procesados y analizados utilizando el lenguaje de programación Python, versión 3.10.9., a través del entorno de desarrollo Spyder, versión 5.4.2. La rutina de procesamiento de los datos se enfocó en la depuración, corrección y transformación, con el fin de obtener una base de datos unificada. Se llevó a cabo un análisis exploratorio y luego de aprendizaje automático (*machine learning*) para encontrar patrones en los datos (Estrada, 2023).

Actividad 2.6: Discusión de los resultados con expertos y generación de recomendaciones agronómicas relevantes.

Para el logro de esta actividad se llevó a cabo una reunión entre el equipo técnico que analizó los datos y un



experto en suelos. El objetivo de esta reunión fue familiarizar al experto con los resultados obtenidos del análisis de los datos de la actividad 2.5, y que a partir de esta discusión se pudiera elaborar un manual de prácticas de manejo de humedad de suelo.

Actividad 2.7: Medición de la intención de adopción de tecnologías de agricultura digital y prácticas climáticamente inteligentes.

A partir del producto de la actividad 1.2 se llevó a cabo una encuesta dirigida a agentes de extensión y asesores agrícolas, y grupos focales y entrevistas semiestructuradas con agricultores beneficiarios del proyecto. La encuesta se mantuvo activa durante marzo y abril de 2023, mientras que los grupos focales y entrevistas semiestructuradas se realizaron durante el primer trimestre de 2023 en los tres países.

Metodología del componente 3: Plan estratégico para el escalado.

Actividad 3.1: Investigación de mercado de la solución tecnológica.

La investigación de mercado se dividió en dos actividades, identificación y caracterización de alternativas a la solución tecnológica propuesta (benchmarking), y encuesta dirigida a agentes de extensión para identificar la intención de adopción de la solución tecnológica. El benchmarking se condujo a través de una búsqueda en línea y con recomendaciones de proveedores hechas por actores clave del proyecto.

Actividad 3.2: Plan de negocio de la solución digital.

Esta actividad contempló la utilización de la información generada en la investigación de mercado para el desarrollo de un plan de negocio que permita garantizar la sostenibilidad económica y escalado de la solución tecnológica desarrollada en el proyecto. Se siguió la metodología expuesta por Luna González (2016).

Metodología del componente 4: Desarrollo de capacidades y difusión de resultados técnicos y científicos.

Actividad 4.1: Capacitación a usuarios finales en el uso de la tecnología.

Se capacitó a los agricultores beneficiarios en el uso de la solución tecnológica y buenas prácticas de gestión de humedad de suelo durante la instalación de los dispositivos en campo, durante la visita de seguimiento y en las visitas de retiro de los dispositivos.

Actividad 4.2: Publicación de resultados por medios de divulgación.

Se planteó la divulgación de los resultados del estudio por múltiples medios, incluidos webinars, blogs, y noticias. La selección del medio de divulgación dependió del tipo de material que se iba produciendo a medida que avanzaba el proyecto; esto con el objetivo de redactar el contenido para audiencias específicas, y creando material apropiado para cada plataforma.

Actividad 4.3: Publicación de resultados y metodología en medios académicos.

Para la producción de trabajos académicos se vinculó al proyecto a tres estudiantes de pregrado en Agronegocios y un maestrante en agricultura tropical sostenible de la Universidad Zamorano. Los estudiantes realizaron sus proyectos especiales de graduación y tesis en actividades directamente relacionadas al proyecto, presentando parte de los resultados como parte de sus trabajos. Como resultado de su participación, se esperaba obtener al menos los trabajos de graduación aprobados, con intención de publicación como artículos académicos.



Actividad 4.4: Desarrollo de un seminario sobre el uso del sensor para toma de decisiones basadas en análisis de datos y construcción de servicios.

Para presentar los resultados finales del proyecto, y promover la solución tecnológica, se planteó que la última actividad del proyecto como un seminario que presentara el resultado final del diseño de la solución tecnológica, los recursos disponibles, y aplicaciones de los datos generados por el dispositivo para la toma de decisiones de gestión de humedad de suelo en los cultivos.

RESULTADOS

Mapeo de actores

En Colombia se definió la región de los Cerrillos, departamento del Cauca, como la zona de interés. La zona de los productores es también conocida como TeSAC (Territorio Sostenible Adaptado al Clima). En Honduras, se definió a la región del corredor seco como la zona de interés, que se caracteriza por un fenómeno cíclico de sequía y alta vulnerabilidad a eventos climáticos. En Nicaragua se definió a los departamentos de Nueva Segovia, Jinotega y Estelí como la zona de interés, debido a que se trabajó directamente con asociaciones de productores de granos básicos. Al igual que en Honduras, esta zona se encuentra en el corredor seco Centroamericano.

En Colombia, la red con mayor presencia es la de entidades de “apoyo”, que principalmente se dedican al desarrollo de tecnologías. En Honduras, se identificó a la Universidad Zamorano y la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) como los actores con mayores relaciones e impacto. Finalmente, en Nicaragua, se resaltó la importancia de trabajar con asociaciones de productores para el desarrollo del proyecto, debido al grado de confianza de los productores en estas y su influencia en otros organismos.

Diagnóstico de conocimiento y uso de tecnologías digitales, y caracterización de sistemas productivos de los sitios piloto de Colombia, Honduras y Nicaragua

En Colombia, Honduras y Nicaragua, se encontró un mínimo o nulo grado de adopción de tecnologías de agricultura digital, como imágenes satelitales, drones, y sensores, entre otros. Además, se identificó que los principales organismos promoviendo nuevas tecnologías y prácticas son organismos no gubernamentales en Honduras y Nicaragua.

En los tres países, la principal razón de adopción de tecnologías de agricultura digital fue el apoyo a través de asistencia técnica, seguido de iniciativa propia de los agricultores. También se identificó la principal razón de no adopción de tecnologías de agricultura digital como el desconocimiento de estas en los tres países.

En cuanto a la percepción del impacto de tecnologías de agricultura digital, los agricultores de Nicaragua indicaron tener una percepción positiva del impacto de las tecnologías en la sostenibilidad económica, ambiental y social de sus fincas, mientras que los agricultores de Honduras y Colombia prefirieron no dar su opinión del impacto percibido.

De forma general, los sistemas productivos de los agricultores se caracterizaron por integrar varios cultivos en la finca, hacer siembras adaptadas a los patrones de lluvia, implementar múltiples prácticas de conservación de suelos (principalmente adición de materia orgánica, barreras vivas, y rotación de cultivos), monitorear y usar agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, y usar principalmente fertilizantes químicos.

Comparación de tecnologías vigentes

A través de la aplicación de la metodología de Investigación, Desarrollo e Innovación, se logró identificar tres



alternativas de sondas a ser evaluadas en el desarrollo de la solución tecnológica propuesta por el proyecto, con el fin de que esta sea de bajo costo, robusta y de alta usabilidad. Las sondas identificadas fueron SS200 de Irrometer, SW10 de Pino Tech y EC5 de Meter (Caro et al., 2022). Estas sondas fueron luego evaluadas con un registrador de datos diseñado por Visualiti SAS.

Diseño de prototipos

A partir de la información generada en la vigilancia tecnológica, experiencia de los expertos y una actividad de visualización creativa con agricultores beneficiarios, se diseñó tres prototipos de la solución tecnológica. Estos prototipos compartieron en su mayoría el diseño externo de la capsula que contiene la batería, registrador de datos y reloj (con adaptaciones para cada sonda en el circuito electrónico), y difirieron en la sonda que mide humedad de suelo (Bulla et al., 2022). De forma general, los prototipos consistieron en una sonda para medir humedad de suelo, una cápsula externa protectora y una cápsula interna que alberga los componentes electrónicos.

Diseño de herramienta fuera de línea para visualización de datos

A través de un marco ágil de gestión con seis iteraciones incrementales, se desarrolló una herramienta fuera de línea para la visualización de los datos registrados por los dispositivos para medir humedad de suelo. La herramienta consiste en una web app que una vez cargada en el navegador (Google Chrome, Microsoft Edge, por ejemplo) no requiere de conexión a internet para funcionar. Esta web app permite visualizar los datos de humedad de suelo guardados por el dispositivo (volumen de agua o porcentaje), y ajustar los niveles de marchitez permanente y saturación del suelo según la textura misma del suelo. Además de la visualización de los datos, la herramienta permite personalizar el reporte agregando información del agricultor y la finca. Finalmente, la web app también permite imprimir o guardar como pdf el reporte de la visualización de datos (Gómez et al, 2023).

Pruebas piloto de los prototipos y réplica del dispositivo final

Las pruebas piloto de los prototipos dieron como resultado que el prototipo C con la sonda ECH20 fue el más preciso, que el prototipo A con la sonda SW-10 fue el más exacto, y que el prototipo A es también el más económico (menor costo). Adicionalmente se hizo un análisis cualitativo de los dispositivos, no habiéndose encontrado problemas de desgaste o daño por condiciones ambientales u operativas. Estas pruebas sirvieron para identificar la sonda SW-10 como la ideal para el diseño final. Finalmente, el equipo técnico del proyecto se reunió para discutir la experiencia con los prototipos en campo y proceder al diseño de una versión mejorada de la solución tecnológica (González et al., 2022).

El diseño final del prototipo incluyó mejoras en el diseño de la cápsula interna, mejorándose el acceso a la memoria microSD, y encendido del dispositivo. En el diseño final, el equipo se enciende y apaga automáticamente al conectar la sonda, y la memoria y carga se hace en el extremo opuesto a la conexión de la sonda, sin necesidad de abrir completamente la cápsula interna. De este dispositivo final de se hicieron 90 réplicas, para distribuir 30 en cada país participante.

Seguimiento participativo en campo

Se instaló 30 sensores en cada país, con productores participantes del proyecto. Se realizó visitas de seguimiento, una por agricultor, para verificar el funcionamiento de los dispositivos y recoger una encuesta de las prácticas de manejo del cultivo. En Colombia, únicamente 24 de los dispositivos registraron datos durante todo el período. En Nicaragua, únicamente 16 de los dispositivos registraron datos de buena calidad durante todo el período. En Honduras, 20 de los dispositivos registraron datos de buena calidad durante todo el período. Las razones por las cuales no todos los dispositivos funcionaron como se esperaba son: instalación inadecuada de la sonda, daño de la electrónica del dispositivo por inundación, y fallas del dispositivo.

Datos de manejo de cultivos e información secundaria

Se recogió información de los ciclos de los cultivos donde estuvieron instalados los dispositivos, y de las prácticas agronómicas implementadas durante el período que los dispositivos estuvieron instalados. La información obtenida de los agricultores fue agregada, anonimizada (a excepción de georreferenciación) y curada para su uso. Como fuentes de información secundaria se evaluaron las bases de datos de Copernicus y CHIRPS. Copernicus es el programa de observación de la tierra de la Unión Europea y CHIRPS es un programa de riesgos climáticos. De ambas bases de datos se extrajo precipitación (mm), temperatura (°K), radiación solar (MJ/m²), y humedad relativa promedio (%) para los sitios donde estuvieron instalados los sensores. Finalmente, la información de los cultivos (primaria) fue agregada con la información secundaria obtenida de Copernicus y CHIRPS (secundaria) para su análisis.

Procesamiento de los datos

Se unificó los datos de los sensores, datos de manejo de los cultivos y la plataforma Copernicus en una sola base de datos. Se encontró que la mayoría de los suelos de estudio se mantuvieron en condiciones de saturación durante el período de recolección de datos. Durante las visitas de campo, se pudo corroborar las condiciones de saturación del suelo y el exceso de lluvias experimentado durante 2022. Este análisis exploratorio de los datos no permitió considerar el efecto de la temperatura del suelo, ni textura, en la medición de humedad de suelo. Temperatura no se midió porque el dispositivo no cuenta con sonda de temperatura, y textura porque de acuerdo con la base de Copernicus, la textura de los suelos es muy similar en los sitios de instalación de los dispositivos.

El análisis de aprendizaje automático, o machine learning, se llevó a cabo con la técnica de bosque aleatorio. En este análisis si se incluyó información de precipitación y temperatura obtenidas de la plataforma Copernicus. El ajuste del modelo fue moderado, explicando únicamente 62.6% de la variación en la humedad de suelo registrada por los dispositivos. El potencial predictivo del modelo fue extremadamente bajo, llegando a explicar únicamente 10.7% de la variación observada en la humedad de suelo según la solución tecnológica. El bajo rendimiento del modelo de bosque aleatorio se atribuye a poca variación de los datos obtenidos de Copernicus y de la textura de suelo, y al hecho de que se contó con relativamente pocas observaciones (agregación diaria de la humedad de suelo) (Estrada, 2023²).

Manual de manejo de humedad de suelo

En una reunión del equipo técnico, el especialista que analizó los datos consolidados de humedad de suelo de los dispositivos, prácticas agronómicas y datos secundarios, explicó al equipo los resultados de su análisis. Luego de la presentación, se procedió a una lluvia de ideas de la mejor forma de utilizar los datos del sensor para guiar buenas prácticas de manejo de humedad de suelo. Se concluyó que los agricultores objetivo del proyecto puede experimentar dos condiciones principalmente, exceso o déficit de humedad. Para crear una solución integral, el manual de manejo de humedad de suelo incluye el procedimiento de extracción y visualización de los datos, y un listado de prácticas de manejo de humedad de suelo divididas en dos categorías: prácticas para mejorar la retención de humedad de suelo, y prácticas para mejorar el drenado de los suelos (Peña et al., 2023).

Intención de adopción de la solución tecnológica

Se obtuvo un total de 71 respuestas válidas de agentes de extensión y técnicos de campo, principalmente de Honduras, Ecuador, El Salvador y Nicaragua. La mayoría (39%) se identificó como asesor técnico, y 25% se identificó como agente de extensión, únicamente. Con respecto a las soluciones tecnológicas en el mercado, la mayoría considera que la solución tecnológica es más accesible económicamente (43%), que les permite tomar decisiones con más facilidad (56%), y que les permite presentar los resultados a los productores o clientes con



más facilidad (51%). Adicionalmente, 87% indicó estar dispuesto a hacer pruebas piloto de la solución tecnológica con sus clientes y 86% indicó estar dispuesto a adoptar la solución tecnológica propuesta.

Difusión de resultados técnicos y científicos

Los resultados del proyecto han sido diseminados por múltiples medios de comunicación, incluyendo Webinars ó seminarios web, blogs, noticias, conferencias académicas, y artículos científicos.

Webinar

Se realizaron tres Webinars para presentar los resultados del proyecto: (1) Agricultura 4.0: adopción, percepción, y actores en Colombia, Honduras y Nicaragua, y (2) AgTec para todos: desarrollo de un sensor para medir humedad de suelo, y (3) Alternativas para el cierre de brechas en el uso de tecnologías digitales en la agricultura. El objetivo del primer Webinar fue presentar la tasa de adopción de agricultura digital y los actores en los países participantes del proyecto. El segundo Webinar tuvo como objetivo compartir el proceso de prototipado, validación y diseño de la solución tecnológica en su versión final, y tercer Webinar tuvo el objetivo de presentar la solución tecnológica y su uso potencial. Los Webinar pueden ser visualizados en los vínculos a continuación.

- Agricultura 4.0: adopción, percepción, y actores en Colombia, Honduras y Nicaragua.
https://www.youtube.com/live/M_U6r4TayMU?feature=share
- AgTec para todos: desarrollo de un sensor para medir humedad de suelo.
<https://www.youtube.com/live/7jE114OM4og?feature=share>
- Alternativas para el cierre de brechas en el uso de tecnologías digitales en agricultura.
https://www.youtube.com/live/9BgaicDroYg?si=mjFf4houz_CwJqaf

Blogs

Se publicaron cinco blogs en la página del proyecto que tuvieron como objetivo servir de comunicaciones cortas de las metodologías y resultados del proyecto, y un sexto blog publicado en la página de la Alianza Bioversity y CIAT resaltando los aspectos de agricultura digital inclusiva del proyecto. El primer blog en la página del proyecto contempla la instalación de los 90 sensores en los tres países, el segundo discute la metodología de co-creación utilizada durante la etapa de prototipado y diseño de la solución tecnológica, el tercero presenta la web app para visualización de los datos, el cuarto las actividades realizadas con los agricultores y comunidades/grupos de interés, y el quinto presenta todo el ecosistema que comprende la solución tecnológica. Los blogs se encuentran disponibles en los vínculos a continuación.

- Instalación de 90 sensores para acelerar la digitalización del agro.
<https://www.fontagro.org/new/noticias/425/es/instalacion-de-90-sensores-para-acelerar-la-digitalizacion-del-agro>
- Co-creación: pensamiento de diseño centrado en el humano en el diseño de de Agetch.
<https://www.fontagro.org/new/noticias/432/es/co-creacion-pensamiento-de-diseno-centrado-en-el-humano-en-el-diseno-de-agtech>
- Herramienta de visualización de datos fuera de línea.
<https://www.fontagro.org/new/noticias/503/es/herramienta-de-visualizacion-de-datos-fuera-de-linea>
- Comunidades fortalecidas en manejo de humedad de suelo y uso de tecnologías digitales.
<https://www.fontagro.org/new/noticias/519/es/comunidades-fortalecidas-en-manejo-de-humedad-de-suelo-y-uso-de-tecnologias-digitales>
- Una solución tecnológica para medir humedad de suelo para agricultura de pequeña escala.
<https://www.fontagro.org/new/noticias/520/es/una-solucion-tecnologica-para-medir-humedad-de-suelo-para-agricultura-de-pequena-escala>
- Sensor de humedad de suelo de bajo costo gana concurso de soluciones tecnológicas.
<https://alliancebioversityciat.org/es/stories/sensor-de-humedad-de-suelo-de-bajo-costo-gana>

Videos

Como parte de los materiales de apoyo, se han publicado cuatro videos, dos tutoriales y dos de presentación/socialización del proyecto. Uno de los videos de presentación del proyecto es corto, con una duración de dos minutos, mientras que el segundo resalta la importancia e impacto del proyecto. Los videos están disponibles en los vínculos a continuación.

- Video de presentación del proyecto. <https://youtu.be/BRa0C9R7-T4>
- Video de presentación de resultados. <https://youtu.be/yAgI9Fealgg>
- Video de instalación del dispositivo. <https://youtu.be/-WjM-zOXESA>
- Video de descarga y visualización de datos. <https://youtu.be/0797er1Abg0>

Noticias

Además de las noticias que están disponibles en la página del proyecto en la web de Fontagro, se publicó una noticia del proyecto en un medio no administrados por el equipo del proyecto, por la revista digital Bloomberg línea. La noticia destacó el objetivo del proyecto, que es llevar tecnología a los agricultores de pequeña y mediana escala.

Participaciones en conferencias

Con el objetivo de validar los resultados del proyecto en medios académicos, se envió resúmenes a tres conferencias. La primera conferencia fue la reunión anual de la Asociación Internacional de Educación y Extensión Agrícola (AIAEE por sus siglas en inglés), que se llevó a cabo del 26 al 29 de abril de 2023 en Guelph, Canada. Desafortunadamente, a pesar de que se aceptó como taller de desarrollo profesional el trabajo titulado “Design thinking and co-creation: engaging smallholder farmers in technological solutions for sustainable agriculture”, el equipo de investigación liderando la presentación no pudo participar por problemas de visado (período de aprobación excedió el plazo disponible para gestionar la visa y hacer planes de viaje). El taller fue reprogramado y se dará en la reunión anual de 2024 en Florida, U.S.A. Debido a que la participación en la conferencia de la AIAEE es en inglés, también se envió una versión del taller, pero en formato de presentación y en español al Congreso Internacional de Desarrollo Rural, organizado por la Universidad de Loyola, España, a llevarse a cabo en junio de 2023

Artículos científicos

El proyecto producirá tres publicaciones científicas. La primera es un artículo científico titulado “Evaluación y estimación de curvas de calibración de dispositivos para medir humedad de suelo”, que fue sido aceptado para publicación en la revista Agronomía Mesoamericana¹. A la fecha de actualización de este documento, el artículo aún no había sido publicado. El artículo presenta la validación de los dispositivos y la estimación de curvas de humedad de humedad de suelo ajustadas para temperatura, textura y conductividad eléctrica. El segundo artículo se encuentra en redacción para envío a Journal of International Agricultural and Extensión Education” [Revista de Educación y Extensión Agrícola Internacional] y cubrirá la metodología y resultados de la intención de adopción de la solución tecnológica. El envío a la revista se hará en diciembre de 2023. Finalmente, la tercera publicación científica que se derivará del proyecto es un estudio de caso con el título tentativo de “AgTec para Todos: el reto de digitalizar la agricultura de pequeña escala en América Latina”. El actor principal del caso será la CEO de una AgTec que de forma noble quiere desarrollar un dispositivo para medir humedad de suelo, destinado para agricultura de pequeña escala (familiar principalmente), y que deberá (i) entender el entorno de la agricultura digital en América Latina, (ii) desarrollar la solución tecnológica para que sea inclusiva, y (iii) evaluar su potencial de mercado. En el contexto del proyecto, el actor principal del caso es la CEO del co-ejercicio



Visualiti, de cara al escalado de la solución tecnológica. El caso será sometido a la International Food and Agribusiness Management Association [Asociación Internacional de Gestión de Alimentos y Agronegocios] con notas de enseñanza en los temas de innovación y diseño centrado el humano para desarrollo de Agtechs, y análisis de regresión aplicada a decisiones estratégicas (modelos de probabilidad lineal y regresión logística)

Indicadores Técnicos

A continuación, se presentan los indicadores técnicos alcanzados en el proyecto según la tabla de indicadores socializada en el memorándum FTG-6670/21, enviado el 17 de febrero de 2021 (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores Técnicos alcanzados por el proyecto.

Indicador	Valor
# Personas capacitadas	111
# Tesis (estudiantes que se benefician)	4 (3 estudiantes de licenciatura y 1 de maestría)
# Mujeres beneficiadas de las iniciativas	49
\$ Inversión I+D+I Total	\$ 404,686
\$ Inversión I+D+I FONTAGRO	\$ 200,000
\$ Inversión I+D+I Contrapartida	\$ 200,686
Fortalecer capacidades institucionales	6 (3 ejecutores del proyecto y tres cooperativas de productores).
# Visitas	702 (webinars)
# Seguidores	71 (twitter, @AgtechParaTodos)

HALLAZGOS DESTACADOS

En los países participantes de este proyecto se encontró que la tasa de adopción de tecnologías de agricultura digital y de agricultura 4.0 es de menos del 2% entre los agricultores de pequeña y mediana escala. Las principales razones de no adopción de tecnologías son desconocimiento de su existencia y costos de adopción. Adicionalmente, aunque los agricultores tengan teléfonos inteligentes que puedan facilitar la adopción de estas tecnologías, aún existe poca conectividad a internet en las zonas rurales, y los dispositivos inteligentes suelen ser de baja gama.

A pesar de los últimos avances en telemetría y agricultura digital y de precisión, donde cada vez se pueden recoger más datos, y analizarlos en tiempo real, existe un mercado para tecnologías de agricultura digital de bajo costo y alto impacto. La demanda de tecnologías de agricultura digital de bajo costo se ve evidenciada en los reconocimientos recibidos por el proyecto, y la buena percepción de usabilidad de la solución tecnológica e intención de adopción identificada en el sondeo de mercado.

HISTORIAS EN EL CAMPO

La solución tecnológica desarrollada fue incluida en el catálogo de INCLUDAS (Inclusive Digital Agriculture Technologies). La plataforma INCLUDAS es gestionada por la Acción Colectiva en Agricultura Digital Inclusiva, que es impulsada por el Foro Global en Investigación Agrícola (GFAR). La solución tecnológica fue incluida en la



categoría de diseño inclusivo y co-diseño tecnológica de familias productoras, como una buena práctica de piloto y acompañamiento.

PLACA: Plataforma de Acción Climática en Agricultura de Latinoamérica y el Caribe

El proyecto recibió un reconocimiento por parte de PLACA, en la categoría de adaptación, por haber desarrollado una solución tecnológica de bajo costo y/o basada en recursos locales.

Semana de la Agricultura Digital 2023

La Semana de la Agricultura Digital es un evento organizado por el Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA). Del 29 de mayo al 1 de junio de 2023, 15 AgTechs tuvieron la oportunidad de participar y presentar sus soluciones tecnológicas enfocadas a mejorar la producción, sostenibilidad e inclusión de los sistemas agroalimentarios. Debido a que la solución tecnológica desarrollada en el proyecto contribuye a la seguridad alimentaria, ayuda a mitigar el impacto negativo del cambio climático, y contribuye a la gestión del agua, el proyecto fue presentado por el co-ejecutor del proyecto Visualiti.

CONCLUSIONES

Se elaboró un diagnóstico del estado actual del uso de sensores entre agricultores de pequeña y mediana escala, encontrándose niveles de adopción de cualquier tipo de tecnología digital para agricultura de menos del 2%. La baja tasa de adopción de innovaciones tecnológicas, específicamente de agricultura digital, pone en una desventaja competitiva a los agricultores de pequeña y mediana escala, con respecto a los agricultores que si han adoptado tecnologías de agricultura digital. La agricultura digital ha cambiado el entorno de toma de decisiones en la administración de los agronegocios, y productores con acceso a información oportuna y valiosa podrán tomar decisiones educadas que mejoren su rentabilidad y los hagan resilientes antes eventos adversos.

A pesar de que los últimos avances en agricultura digital y de precisión permiten tomar más y mejores datos, incluso algunos que no podíamos hace algunos años, las tecnologías actuales han excluido a los agricultores de pequeña y mediana escala de la revolución de la agricultura 4.0. Los factores de desconocimiento, costo, y falta de soporte local son las principales razones de no adopción de nuevas innovaciones en agricultura digital.

Como este proyecto ha evidenciado que es posible utilizar tecnologías de agricultura digital existentes y llevarlas a su versión de producto mínimo viable, reduciendo costos y adaptándolas a las expectativas y necesidades de los agricultores, particularmente aquellos de pequeña y mediana escala. Además, existe un nicho de mercado insatisfecho para estas tecnologías, ya que las tecnologías existentes no están diseñadas para este segmento y por lo tanto no satisfacen sus necesidades. Es importante considerar que, el agricultor de pequeña y mediana escala es beneficiario de estas tecnologías, pero no siempre es el cliente. En algunos casos, los agricultores son los beneficiarios de estas tecnologías de bajo costo y alto impacto, mientras que los clientes son organismos de extensión o cooperación internacional interesados en la promoción de la adopción de estas tecnologías, o de su uso en los procesos de capacitación en el uso de prácticas agronómicas climáticamente inteligentes.

RECOMENDACIONES

FONTAGRO es un actor clave en el desarrollo y transferencia de innovaciones tecnológicas en agricultura en América Latina y el Caribe. Como tal, debe ejercer un rol clave en la investigación que permite el desarrollo y/o adaptación de nuevas innovaciones. Sin embargo, el modelo actual de cofinanciamiento de proyectos exige la gestión de proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) de igual forma que los proyectos de



transferencia de tecnología. La gestión de proyectos de innovación debe crear un ambiente seguro para los investigadores, dando lugar al error y aprendizaje del error, sin requerimientos de escalamiento y número de beneficiarios en las primeras etapas de desarrollo de nuevas innovaciones. A la vez, proyectos exitosos de I+D+i deberían tener acceso privilegiado a fondos de escalamiento de las tecnologías. Este proyecto ha demostrado que existe interés y demanda por innovaciones tecnológicas de bajo costo y alto impacto en agricultura digital para pequeños y medianos productores. Los organismos de extensión y cooperación internacional deben redirigir sus esfuerzos a la generación y/o adaptación de tecnologías usando recursos locales, que genuinamente satisfagan las necesidades y expectativas del productor local, y no únicamente importándolos de otros países. El desarrollo de innovaciones en agricultura digital usando recursos locales permitirá un desarrollo paralelo de servicios de asesoría y servicios de mantenimiento de las tecnologías, aumentando la probabilidad de adopción de nuevas innovaciones, y generando un entorno favorable de negocio para startups de agricultura digital.

El mecanismo de cofinanciamiento actual de FONTAGRO no hace diferencia entre tipos de organizaciones. Por ejemplo, la contrapartida requerida para un instituto nacional de transferencia de tecnología es la misma que para universidades y centros de innovación. Sin embargo, las políticas de extensión de estos organismos son diferentes. Dado que el mecanismo actual de cofinanciamiento no es atractivo para universidades, ni centros de investigación, FONTAGRO debería considerar requerimientos diferenciados de contrapartida según el tipo de organización y su capacidad de cofinanciamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bulla, B., Gómez, O., Castaño, C. Sandoval, L., Dorado, H., Muñoz, L. (2022). Producto 4. Nota Técnica del Diseño de los prototipos. Working report.
- Bulla Caro, B., Gómez, O., Sandoval, L., Dorado, H. (2022). Producto 7. Ficha técnica del modelo final. https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/Agtech_19043_-_Producto_7_-_Ficha_t%C3%A9cnica_de_modelo_final.pdf
- Caro, B., Gómez O., Sandoval, L., Dorado, H., Muñoz, L. (2022). Producto 3. Nota Técnica Comparativa de Tecnologías Vigentes. https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/AgTech_19043_-_Producto3.pdf
- Estrada, O. (2023). Nota técnica 10. Rutinas de procesamiento y análisis de datos. Working report.
- für internati, G. I. Z. G. D. G. (2015). Cooperation Management for Practitioners: Managing Social Change with Capacity WORKS. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Gómez, O., Caro, B., Nasayo, C., Sandoval, L., González, A., Dorado, H. (2023). Producto 5: Diseño de herramienta fuera de línea de visualización de datos. Working report.
- González A., Sandoval, L., Gómez O., Caro, B., Dorado, H. (2022). Producto 6: Nota técnica de pruebas piloto. https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/Agtech_19043_-_Producto_6_-_Nota_t%C3%A9cnica_de_pruebas_de_prototipos.pdf
- Luna González, A. C. Plan estratégico de negocios. ed. México D.F: Grupo Editorial Patria, 2016. 289 p. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/bvuzamorano/40472?page=4>.
- Peña, R., Gonzalez, A., Sandoval, L., Estrada, O. (2023). Producto 11. Manual de prácticas de manejo de humedad de suelo. Working document.
- Roger, E.M. (2003). Diffusion of Innovations. Free Press, New York.
- Salas, D., Dorado, H., Sandoval, L., Mañunga, J. Pereira, E. Muñoz, A. (2022). Producto 1. Mapeo de Actores y Diagnóstico de conocimiento y uso de tecnologías digitales y caracterización de sistemas productivos de productores de los sitios pilotos de Colombia, Honduras y Nicaragua. [https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/Agtech_19043_-_Producto_1_compiladoAB_\(1\).pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/Agtech_19043_-_Producto_1_compiladoAB_(1).pdf)
- Salcedo, S., Guzmán, L. (2014). Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política.



AGTECH 3: SISTEMA DE ASESORAMIENTO AL REGANTE (SAR)

ABSTRACT

The agricultural sector is confronted with the challenge of increasing crop yields to meet the demands of a growing global population. This challenge is not solely quantitative but also qualitative, owing to consumer expectations regarding production processes and the efficient, sustainable utilization of water, soil, energy, and other agricultural inputs. In this context, irrigation and family agriculture (FA) play pivotal roles. Approximately 324 million hectares worldwide are irrigated, constituting 20% of arable land and yielding 40% of food production. FA, as the predominant production system globally, encompasses over 90% of all agricultural holdings and supplies upwards of 80% of food. In terms of irrigation, achieving more efficient water management is crucial, not as an end in itself but as a means to sustainably boost crop yields.

The primary goal of this project is to conduct a study identifying strategies to narrow the yield gap in selected crops, through irrigation schedules tailored to specific water requirements. The fieldwork was conducted in seven pilot areas across Argentina, Nicaragua, and Uruguay, covering a potential intervention area of 5,040 hectares and approximately 1,550 potential beneficiaries. Collaborating institutions include the National Institute of Agricultural Technology (INTA, Argentina), the Nicaraguan Institute of Agricultural Technology (INTA, Nicaragua), the National Institute of Agricultural Research (INIA, Uruguay), the Institute for Sustainable Agriculture (IAS, Spain), Wageningen University (WU, The Netherlands), and KILIMO (Argentina). The project was structured into three components and nine activities.

A significant innovation of this project is the development of the Irrigation Advisory Service (SAR), which guides users in determining optimal irrigation times and quantities using climate, crop, soil data, and satellite imagery. Platforms include a website and a mobile application, both nearing the final stages of refinement. The project focused on crops like cotton, alfalfa, strawberry, pepper, bean, and tomato. Adapting methodologies for processing high-resolution satellite imagery was a considerable challenge due to varying farm sizes. Another breakthrough was using the Gradient Boosting Tree (GBT) algorithm to estimate soil water content from satellite images. The GBT effectively predicted soil moisture using variables like soil texture and bulk density, and spectral indices such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Differential Water Index), and MSAVI2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index).

Key words: AgTechs, Family agriculture, Irrigation.

RESUMEN

El sector agrícola se enfrenta al desafío de aumentar el rendimiento de los cultivos para satisfacer las demandas de una población mundial en crecimiento. Este desafío no es sólo cuantitativo sino también cualitativo, debido a las expectativas de los consumidores respecto de los procesos productivos y la utilización eficiente y sostenible del agua, el suelo, la energía y otros insumos agrícolas. En este contexto, el riego y la agricultura familiar (AF) juegan papeles fundamentales. Aproximadamente 324 millones de hectáreas en todo el mundo son irrigadas, lo que constituye el 20% de la tierra cultivable y produce el 40% de la producción de alimentos. La AF, como sistema de producción predominante a nivel mundial, abarca más del 90% de todas las explotaciones agrícolas y suministra más del 80% de los alimentos. En términos de riego, lograr una gestión más eficiente del agua es crucial, no como un fin en sí mismo, sino como un medio para aumentar de manera sostenible el rendimiento de los cultivos.

El objetivo principal de este proyecto es realizar un estudio que identifique estrategias para reducir la brecha de rendimiento en cultivos seleccionados, a través de programas de riego adaptados a los requisitos de agua específicos. El trabajo de campo se llevó a cabo en siete áreas piloto en Argentina, Nicaragua y Uruguay, cubriendo un área potencial de intervención de 5.040 hectáreas y aproximadamente 1.550 beneficiarios potenciales. Las instituciones colaboradoras incluyen el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina), el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA, Nicaragua), el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA, Uruguay), el Instituto de Agricultura Sostenible (IAS, España), Universidad de Wageningen (WU, Países Bajos) y KILIMO (Argentina). El proyecto se estructuró en tres componentes y nueve actividades.

Una innovación significativa de este proyecto es el desarrollo del Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR), que aconseja a los usuarios en la determinación de tiempos y cantidades óptimos de riego utilizando datos climáticos, de cultivos, de suelo e imágenes satelitales. Las plataformas incluyen un sitio web y una aplicación móvil, ambas acercándose a las etapas finales de perfeccionamiento. El proyecto se centró en los siguientes cultivos: algodón, alfalfa, fresa, pimiento, frijol y tomate. Adaptar metodologías para procesar imágenes satelitales de alta resolución fue un desafío considerable, debido a los diferentes tamaños de los predios. Otro avance fue el uso del algoritmo Gradient Boosting Tree (GBT) para estimar el contenido de agua del suelo a partir de imágenes de satélite. El GBT predijo eficazmente la humedad del suelo utilizando variables como la textura y la densidad aparente del suelo, e índices espectrales como NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada), NDWI (Índice de agua diferencial normalizado) y MSAVI2 (Índice de vegetación ajustado de suelo modificado).

Palabras Clave: AgTechs, Agricultura familiar, Riego.

ANTECEDENTES

El sector agropecuario enfrenta el desafío de incrementar el rendimiento de los cultivos ante el crecimiento de la población mundial. El reto no es sólo cuantitativo, sino también cualitativo, debido a las exigencias de los consumidores sobre los procesos de producción, el uso eficiente y sostenible del agua, el suelo, la energía y otros insumos agrícolas. Asimismo, el cambio climático incorpora una incertidumbre extra que debe tenerse en cuenta. En este escenario, la agricultura irrigada y la agricultura familiar (AF), tienen un papel central. En el mundo se riegan alrededor de 275 millones de ha, lo que representa el 20% de la superficie cultivada, que producen el 40% de los alimentos. En Argentina la superficie con riego es de 2.100.000 ha (FAO, 2015). En Nicaragua es de 91.580 ha, en 9.063 unidades de producción. Se cultivan aproximadamente 6.279.380 ha, de las que cerca del 20% poseen potencial para riego, pero sólo se aprovecha el 7,3% (MAG, 2017). En Uruguay, se riegan 242.000 ha (MGAYP, 2011). La AF es la forma de producción más extendida en el mundo, con más del 90% del total de explotaciones agropecuarias-EAPs (500 millones) y aporta el 80% de los alimentos (FAO, 2014). En América Latina y el Caribe (ALC), las EAPs familiares son 16,5 millones. En Argentina, de un total de 333.477 EAPs, 218.868 (66%) son de pequeños productores (Obschatko et al., 2007). En Nicaragua, el 83% de las EAPs son de AF (223.374 sobre 268.527) (FAO, 2014b). En Uruguay, sobre 45.000 EAPs, 25.000 pertenecen a la AF (Sganga et al., 2014).

Respecto al riego, es fundamental mejorar su manejo para incrementar el rendimiento de los cultivos de manera sostenible, evitando o limitando impactos ambientales negativos (salinización, erosión) derivados de prácticas inadecuadas. Uno de los principales factores biofísicos que causa la brecha de rendimientos es la baja disponibilidad de agua o su manejo poco eficiente. En los últimos años, la brecha de rendimientos (la diferencia entre los rendimientos alcanzables y los promedios que obtienen los agricultores) ha atraído fuertemente la atención, al punto que existe un sitio web que analiza este tema a nivel mundial (<http://www.yieldgap.org/>). En el Sistema de Riego del Río Dulce (SRRD), Santiago del Estero, Argentina, se ha calculado una brecha de rendimientos del 40% para maíz y algodón (Angella, 2016). En Uruguay no hay estudios recientes para la AF, pero datos publicados por el MGAYP indican una brecha importante en tomate, papa y frutilla. En Nicaragua la brecha de rendimientos para tomate y chiltoma (pimiento) se ha estimado en un 30%. Un aspecto importante del manejo del riego es la aplicación del agua siguiendo una programación o calendario de riego. Los agricultores raramente deciden el momento del riego en función de las necesidades de agua de los cultivos o del contenido de agua en el suelo, sino que se basan en decisiones empíricas, tales como el aspecto de los cultivos o la estimación “visual” de la humedad del suelo.

La AF tiene limitaciones para acceder a tecnologías e información acorde a sus necesidades. Las causas son diversas: las distancias entre los centros de investigación y las zonas de producción, sistemas de extensión insuficientes, baja capacidad de inversión, dificultad para acceder a créditos. El creciente acceso a Internet y a la telefonía móvil son una oportunidad para transferir información y conocimientos a la AF e integrar a los agricultores en los nuevos sistemas agroalimentarios impulsados digitalmente. A su vez, el acceso cada vez más sencillo a tecnología electrónica, transmisión de datos a distancia y datos de sensores remotos, facilita el monitoreo del clima, suelo, agua y cultivos, lo cual ayuda a la gestión sostenible de la agricultura.

Los servicios de asesoramiento de riego se han difundido en los últimos años. Están mayormente orientados a cultivos extensivos (trigo, maíz, soja, girasol, sorgo) y, en menor medida, a vid y otros árboles frutales. En este proyecto se trabajó en algodón, alfalfa, frutilla (fresa), chiltoma (pimiento), frijol y tomate. Como antecedentes de plataformas que brindan asesoramiento de riego, se mencionan:

RiegoApp: permite el control de varios programadores, configurar riegos, ver el consumo y la presión en tiempo real, conocer datos históricos de riegos pasados.

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.iriego.riegoapp&hl=es&gl=US>

Aquadaia-app: permite saber la cantidad de agua necesaria en un cultivo para su crecimiento óptimo.

<https://www.agroes.es/agricultura/agua-riegos-regadios/1049-aquadaia-app-gratis-para-calculiar-agua-de-riego-optimo>

Kilimo app: plataforma para el manejo del riego, recomienda el riego óptimo para cada cultivo.

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kilimo.riego&hl=es_AR&gl=US

Ponce AgTechs: sistema de monitoreo de riego.

<https://ponceautomations.com/>

SupPlant: orientación sobre la eficiencia del uso del agua, riego, recomendaciones de riego para hoy y la próxima semana, datos climáticos actuales y previstos.

https://play.google.com/store/apps/details?id=me.supplant.dss&hl=es_AR&gl=US

GESIR-INIA web app: gestión y planificación del riego.

<http://www.inia.uy/investigaci%C3%B3n-e-innovaci%C3%B3n/programas-nacionales-de-investigaci%C3%B3n/Programa-Nacional-de-Investigaci%C3%B3n-en-Producci%C3%B3n-y-Sustentabilidad-Ambiental/GESIR---Gestor-inteligente-de-riego>

Irriga Global: servicio de gestión de riego.

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.irrigaglobal.app&hl=es_AR&gl=US

OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo general del proyecto es generar un estudio que permita identificar cómo disminuir la brecha de rendimientos en un grupo de cultivos seleccionados a través del uso de programaciones del riego ajustadas a los requerimientos de agua.

Objetivos específicos

1. Elaborar un diagnóstico inicial en las áreas de estudio y desarrollar la infraestructura del Sistema de Asesoramiento al Regante (SAR).
2. Desarrollar un estudio de un sistema de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) que constituirán las bases operativas del SAR.
- 3) Realizar estudios de prueba para implementar el SAR y sentar las bases para su escalamiento.

METODOLOGÍA

COMPONENTE 1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL Y DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SAR.

Objetivo: realizar un diagnóstico de la situación inicial en las áreas piloto y desarrollar la infraestructura del SAR.

Metodología: el diagnóstico se hizo a través de un proceso participativo, que involucró la socialización del proyecto, el conocimiento de los actores involucrados y la definición de la línea de base. En Argentina, Nicaragua y Uruguay se establecieron las áreas piloto y el diagnóstico inicial permitió conocer las condiciones de referencia de los productores y sus sistemas de producción. El flujo de información del SAR se basó en una infraestructura conformada por una red de observación agrometeorológica, una base de datos para cada una de las áreas piloto, herramientas y procedimientos para garantizar el flujo y la comunicación de la información. Basado en el concepto del *big data* se diseñó e implementó una base de datos geográfica multiusuario, que recopiló y sistematizó información derivada del satélite Sentinel 2 e información de clima, suelos y cultivos. Con esta información de base y mediante protocolos metodológicos acordados, se generaron los *inputs* del SAR. Las actividades de este componente fueron las siguientes:

Actividad 1.1 Elaborar un diagnóstico inicial de las áreas piloto en Argentina, Nicaragua y Uruguay. *Objetivo:* delimitar y caracterizar las áreas piloto en cada uno de los países participantes. *Metodología:* las áreas pilotos se delimitaron espacialmente y se caracterizaron relevando áreas de producción, cultivos, manejo agronómico y



manejo del riego, utilizando imágenes satelitales y GPS. Se consultaron fuentes primarias de datos y se realizaron entrevistas a productores, asesores y responsables de la administración del riego. Se definió un protocolo estándar de recolección de los datos de campo. *Responsables:* INTA Argentina, INIA, INTA Nicaragua. *Colaboradores:* IAS, Universidad de Wageningen. Se consultó la siguiente bibliografía: Angueira et al (2007), Caumo et al (2014), Municipalidad de El Sauce (2021), INIDE-MAGFOR (2013), INDEC (2010 y 2018), INE-ROU (2011), Intendencia Municipal de Canelones (2021), Intendencia Municipal de San José (2021), Ministerio de Agricultura y Pesca-ROU (1979), MGAP (2021), Universidad Nacional Autónoma de México (2022), Vervelde (2018).

Producto 1: Nota Técnica con el informe técnico del diagnóstico inicial de las áreas piloto.

Actividad 1.2. Elaborar un diagnóstico y modernizar/ampliar la red de estaciones meteorológicas locales. *Objetivo:* Conformar una red de estaciones meteorológicas en funcionamiento *on-line*. *Metodología:* se analizaron las características de las estaciones meteorológicas ya instaladas y las variables climáticas que registran, se relevaron posibles limitaciones de infraestructura y de manejo de la red, como así también su distribución espacial y cobertura. Se instalaron seis nuevas estaciones meteorológicas automáticas en las áreas piloto del proyecto y se realizaron las acciones necesarias para mejorar su conectividad *on-line*. También se definieron los protocolos de control, transmisión y almacenamiento de datos. *Responsables:* INTA Argentina, INIA, INTA Nicaragua. Se consultó la siguiente bibliografía: Allen et al (2006), Hargreaves et al (1985), Smith (1999), Vera et al (2006), WMO (2018).

Producto 2. Nota Técnica con el informe técnico del protocolo de control, transmisión y almacenamiento de datos.

Actividad 1.3. Diseñar e implementar la base de datos del SAR. *Objetivo:* implementar la base de datos del SAR. *Metodología:* En una etapa inicial se recopiló datos existentes de diferentes fuentes sobre variables de suelo requeridas por los modelos de balance hídrico y programación del riego (cobertura, relieve, textura, capacidad de retención hídrica) y se complementaron con datos obtenidos por muestreo a campo. Luego se desarrollaron los *scripts* en la plataforma *Google Earth Engine* para el procesamiento de datos y obtención de mapas de clima (temperatura, precipitación y evapotranspiración de referencia), humedad de suelos, índices de vegetación y cultivos a partir de información derivada de la red de estaciones meteorológicas, el satélite Sentinel 2 y datos de campo. Finalmente, se diseñó una base de datos geográficas relacional multiusuario, usando el software *open source y freeware PostgreSQL* con extensiones espaciales *PostGIS* y se implementaron interfaces de usuarios para el acceso remoto a las bases de datos, con la asignación de roles y permisos de acceso. *Responsables:* INTA Argentina, INIA, INTA Nicaragua. *Colaboradores:* Kilimo S.A. Se consultó la siguiente bibliografía: Harvard Humanitarian Initiative (2021), Open Source Geospatial Content Management System (2021), PostGIS Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL (2021).

Producto 3: Nota Técnica con el informe técnico descriptivo de la infraestructura del SAR.

COMPONENTE 2. DESARROLLO DE LAS TICS DEL SAR.

Objetivo: desarrollar la aplicación de telefonía móvil y el sitio web del SAR. *Metodología:* se desarrolló un software para elaborar balances hídricos y calendarios de riego (base conceptual del SAR). Se desarrolló una aplicación de telefonía móvil (*app*) y un sitio web para brindar recomendaciones sobre momentos y dosis de riego. Las actividades de este componente fueron las siguientes:

Actividad 2.1. Calibrar y validar datos de humedad de suelo obtenidos mediante sensores de campo y remotos. *Objetivo:* ajustar los datos de humedad de suelo obtenidos por sensores de diversos tipos (de campo y remotos). *Metodología:* se ajustaron datos de humedad del suelo estimados por sensores de campo y remotos vs. datos obtenidos por muestreos gravimétricos. Para el caso de los sensores de campo, el ajuste estadístico entre valores observados y estimados se realizó mediante el uso de indicadores estadísticos, tales como Coeficiente de Determinación (R^2), el Error Cuadrático Medio (RMSE) y el Error Cuadrático Medio Normalizado (NRMSE).



Responsables: INTA Argentina, INIA, INTA Nicaragua. Se consultó la siguiente bibliografía: Abanto-Rodríguez (2020), Ali et al (2015), Angella et al (2016), Greifeneder et al (2021), Enciso et al (2007), Lievens et al (2017), Lizarazo et al (2017), Marano et al (2012), Martin et al (2010), Qiu et al (2019), Revelo Luna et al (2020), Schilardi et al (2015), Silva et al (2012), Solorza (2013), Ulaby et al (1978), Zhang et al (2016), Palacios-Vélez et al (2011).

Producto 4. Nota técnica con el informe técnico sobre el ajuste de datos de humedad de suelo obtenidos por diferentes tipos de sensores.

Actividad 2.2. Calibrar y validar un modelo de cálculo de balance hídrico. *Objetivo:* disponer de un software para definir las alertas de riego. *Metodología:* el software tiene un lenguaje de programación compatible con las TICs a desarrollar. Las variables agronómicas *inputs* del modelo son: características de los predios, de los cultivos, fecha de siembra, duración de las fases fenológicas en días calendario, contenido hídrico del suelo al momento de la siembra, características del suelo (textura, propiedades de retención hídrica, capas limitantes) y el clima (datos diarios de radiación o heliofanía, humedad relativa media, temperatura media, mínima y máxima, viento, lluvia). *Responsables:* INTA Argentina, INIA, INTA Nicaragua. *Colaboradores:* Kilimo S.A., IAS. Se consultó la siguiente bibliografía: Allen (2011), Baker et al (1983), Bausch (1987), Brown (1985), Calera et al (2016), Hearn et al (1984), Heilman et al (1982), Jones et al (2003), Mateos et al (2013), Neale et al (1989), Ritchie et al (1985), Steduto et al (2009), Stockle et al (2003), Wang et al (2002).

Producto 5. Nota técnica con el informe técnico sobre de las características del software.

Actividad 2.3. Desarrollar, en forma colaborativa con los beneficiarios directos, una aplicación de telefonía móvil y de un sitio web. *Objetivo:* disponer de las TICs que constituirán las interfaces del SAR. *Metodología:* El sitio web cuenta con un visor de mapas que muestra las estaciones meteorológicas, los mapas resultantes de la interpolación de datos de variables climáticas (precipitación acumulada, temperatura, etc.), las fincas en las que se hizo el seguimiento de cultivos, humedad de suelo, estado de los cultivos y necesidades de riego, derivado de productos de satélites. *Responsables:* INTA Argentina, INIA, INTA Nicaragua. *Colaboradores:* Kilimo S.A. Se consultó la siguiente bibliografía: Altobelli et al (2018), Lorite et al (2012), Tapsuwan et al (2015), Unver et al (2020), Vuolo et al (2015).

Producto 6. Nota técnica sobre el estudio de la aplicación de telefonía móvil de SAR.

Producto 7. Nota técnica sobre el estudio del sitio web del SAR.

COMPONENTE 3. IMPLEMENTACIÓN, IMPACTO Y ESCALAMIENTO EL SAR.

Objetivo: aplicar el SAR en las áreas piloto de ejecución del proyecto, cuantificar su impacto y sentar las bases para su escalamiento. *Metodología:* las áreas pilotos se implementaron en campos de productores. Se establecieron las bases para escalar las innovaciones y se difundieron los resultados del proyecto. Las actividades de este componente son las siguientes:

Actividad 3.1. Aplicar el SAR en las áreas piloto de ejecución del proyecto. *Objetivo:* cuantificar el impacto del SAR. *Metodología:* se hizo una cuantificación preliminar del impacto del SAR, usando indicadores objetivamente verificables. *Responsables:* INTA Argentina, INIA, INTA Nicaragua. *Colaboradores:* Kilimo S.A., Universidad de Wageningen, IAS.

Producto 8. Nota Técnica conteniendo un informe técnico sobre el uso del SAR y la cuantificación de su impacto.

Actividad 3.2. Desarrollar la estrategia de escalamiento del SAR. *Objetivo:* disponer de un plan de negocios que permita escalar el SAR una vez finalizada la financiación del proyecto. *Metodología:* se elaboró un modelo de negocios, basado en el método CANVAS. *Responsables:* INTA Argentina, INIA, INTA Nicaragua, Kilimo S.A.

Producto 9. Nota Técnica conteniendo un informe técnico sobre el modelo de negocios para el escalamiento del SAR.



Actividad 3.3. Difundir los resultados. *Objetivo:* elaborar y concretar un plan de difusión de los resultados del proyecto. *Metodología:* se realizaron reuniones y talleres internos y externos, jornadas, webinarios, seminarios. La difusión se hizo a productores, profesionales de organismos públicos, asesores del sector privado, académicos, investigadores y estudiantes. Se elaboraron productos diversos: las Notas Técnicas (Productos) propias del proyecto, boletines de difusión, memorias de talleres y seminarios, minutas de reuniones; informes de avance de tesis de posgrado en ejecución; publicaciones con referato; sitio web, webstory, FONTAGRO Tech y Póster del proyecto, publicaciones en redes sociales y en los sitios web de las instituciones participantes. *Responsables:* INTA Argentina, INIA, INTA Nicaragua, IAS, Kilimo S.A., Universidad de Wageningen.

Producto 10. Notas técnicas conteniendo diferentes productos del conocimiento y difusión: informes y boletines del proyecto, publicaciones en congresos, tesis de posgrado.

RESULTADOS

COMPONENTE 1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL Y DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SAR.

Resultado 1.1. Áreas piloto establecidas y caracterizadas

El Medio de Verificación (MDV) del Resultado 1.1 es el Producto 1. Se caracterizaron las áreas piloto en las cuales se desarrolló el proyecto, considerando aspectos socioeconómicos, climáticos, edáficos, productivos y del manejo del agua. En lo concerniente a este último punto, los principales problemas detectados fueron los siguientes:

Argentina: sobre irrigación y baja eficiencia de riego; turnados fijos de entrega de agua, lo cual limita poder regar en los momentos en que los cultivos lo necesitan; falta de aplicación de conceptos técnicos para definir el momento de riego y la dosis a aplicar; dificultades para acceder a créditos o financiamiento que permitan modernizar el riego en la finca; necesidad de mejorar la sistematización de suelos para el riego.

Nicaragua: la demanda de agua de los cultivos es mayor al agua disponible; limitación de fuentes de agua; sistemas de riego anticuados y poco eficientes; poco conocimiento sobre el régimen de riego de los cultivos y de los factores climáticos que determinan la necesidad de riego; la variabilidad climática (fenómeno de El Niño) limita la expansión de las áreas de riego; los regantes se ven obligados a reducir las áreas irrigadas por falta de agua en épocas de verano.

Uruguay: la cantidad del agua en los predios en muchos casos no es suficiente; presencia de elementos químicos que afectan su calidad para el uso en el riego; se necesita mejorar las capacidades para la gestión y fuentes de acceso al agua y, también, aplicar los fundamentos técnicos del riego, en aspectos agronómicos e hidráulicos.

El documento completo del Producto 1 está disponible en:

https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/Proy_FONTAGRO_AgTech_19037_Nota_t%C3%A9cnica_Producto_1_3_mar_2022.pdf

Resultado 1.2. Redes de información agrometeorológicas fortalecidas

El MDV del Resultado 1.2 es el Producto 2. Se describieron las características de las estaciones meteorológicas convencionales y automáticas ubicadas en las áreas de influencia del proyecto; se abordó el concepto de metadato y los distintos tipos; se elaboró un protocolo sobre los datos meteorológicos necesarios para calcular la evapotranspiración de referencia; se hizo una descripción de las estaciones meteorológicas activas, al momento del inicio del proyecto, en las áreas piloto de Argentina, Nicaragua y Uruguay.

A través del proyecto se adquirieron seis estaciones meteorológicas automáticas, que se instalaron en las áreas piloto San José y Canelones (Uruguay), Tisma y El Sauce (Nicaragua) y Colonia El Simbolar y Nueva Francia



(Santiago del Estero, Argentina). Además de los beneficios directamente relacionados al proyecto (mejorar la estimación de los requerimientos de agua de los cultivos que se monitorean en las áreas piloto), las estaciones brindan servicios adicionales, de interés para los agricultores, tales como: estimar, de acuerdo a las tendencias de las variables meteorológicas, si se darán condiciones predisponentes para la aparición de insectos, plagas o enfermedades; definir el momento de corte de cultivos y pasturas para ensilado o enfardado, según la humedad atmosférica; definir el momento adecuado de aplicación de fitosanitarios, de acuerdo a la intensidad y dirección del viento. Se benefician 400 productores en Uruguay, 250 en Nicaragua y 900 en Argentina. Cinco de las estaciones tienen acceso online

El documento completo del Producto 2 está disponible en:

https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/Proy_FONTAGRO_AgTech_19037_Nota_t%C3%A9cnica_Producto_2_3_mar_2022.pdf

Resultado 1.3. Base de datos del SAR implementada

El MDV del Resultado 1.3 es el Producto 3. Se describió la Base de Datos Geográfica (GDB), diseñada para almacenar los datos de un conjunto de entidades espaciales. La Implementación de la GDB se realizó en el sistema gestor de bases de datos de acceso libre PostgreSQL, PostGIS. Para definir la plataforma de funcionamiento, se especificó la infraestructura tecnológica que dio soporte al sistema. Se presentaron tablas y diagramas detallados de la conformación y el funcionamiento de la GDB. Adicionalmente, se dieron detalles sobre la seguridad informática, el soporte informático y las tareas de mantenimiento del servidor. El diseño de la base de datos se realizó teniendo en cuenta las especificaciones de los requerimientos del SAR. El diseño conceptual de la base de datos, a través del cual se representan las Entidades, de las cuales es necesario almacenar información, el tipo de relación entre ellas y la cardinalidad de las mismas: uno a uno, se simboliza como 1.1 (una instancia de una entidad A se relaciona con una instancia de la entidad B) y uno a muchos, se simboliza como 1* (una instancia de una entidad A se relaciona con varias instancias de la entidad B).

Posteriormente se especificó el diseño lógico de la base de datos, definiéndose para cada una de las entidades, su geometría, atributos, tipo de datos, unidades de medida y los dominios (valores codificados y rangos) como posibles valores de los atributos.

El documento completo del Producto 3 está disponible en:

https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/Proy_FONTAGRO_AgTech_19037_Nota_t%C3%A9cnica_Producto_3_3_mar_2022.pdf

COMPONENTE 2. DESARROLLO DE LAS TICS DEL SAR.

Resultado 2.1. Datos de humedad de suelo obtenidos por sensores de campo y remotos, ajustados

El MDV del resultado 2.1 es el Producto 4. A continuación se presentan los principales resultados.

Ajuste de datos de humedad de suelo estimados con sensores de campo

El objetivo fue comparar los datos de humedad de suelo obtenidos por sensores tipo de capacitancia, respecto de datos obtenidos por muestreos gravimétricos y analizar el grado de ajuste logrado. Se usaron sensores marca Decagon Modelo Teros I10 (70 MHz). En el Área piloto San José (Uruguay) se hizo el seguimiento de humedad en cultivos de frutilla (*Fragaria Sp.*) implantados en los predios de los productores Sres. Parodi, Figueira y López mientras que en el Área Piloto de Canelones (Uruguay) se siguió un cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*), en el predio del Sr. Fernández.

A los fines de hacer una correcta evaluación de la estimación de la humedad del suelo por los sensores, se usaron tres indicadores estadísticos: el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la raíz del error cuadrático medio normalizado (NRMSE). El R^2 da una indicación de la bondad de ajuste (precisión



con la que los puntos de datos se encuentran en la línea de regresión) y varía entre 0 y 1, tomando el valor de 1 cuando el ajuste es perfecto. El RMSE representa una medida general de la diferencia absoluta entre valores observados y estimados, toma la misma unidad de la variable considerada y varía entre 0 e infinito. Valores cercanos a 0 indican buen desempeño; cuanto más pequeño es un valor RMSE, más cercanos son los valores estimados y observados. El NRMSE se expresa como porcentaje; el ajuste se considera excelente cuando es menor al 10%, bueno entre 10 y 20%, aceptable entre 20 y 30% y pobre cuando es mayor que 30%.

Calibración

Los cultivos, el rango de fechas de los muestreos, el número de muestreos y el tamaño de la muestra, en los cuatro predios en los que se hizo el seguimiento de humedad. En todos los casos, los datos corresponden a las tres profundidades (0-20, 20-40, 40-60). La Tabla 2 muestra los valores de los indicadores para cada predio.

En todos los casos, tanto el RMSE como el NRMSE indicaron un muy buen ajuste. El R^2 mostró buenos a muy buenos ajustes. Considerando los buenos ajustes logrados sin necesidad de cambiar los parámetros de la calibración de fábrica de los sensores, se siguió con el proceso de validación, usando otros conjuntos de datos.

Validación

Los cultivos, el rango de fechas de los muestreos, el número de muestreos y el tamaño de la muestra, en los cuatro predios en los que se hizo el seguimiento de humedad. En todos los casos, los datos corresponden a las tres profundidades (0-20, 20-40, 40-60).

Como para la calibración, tanto el RMSE como el NRMSE indicaron un muy buen ajuste. Por su parte, el R^2 mostró aceptables a buenos ajustes, menos sólidos que en la calibración.

Análisis general de los datos

Para el RMSE, al estar expresado el contenido hídrico en $m^3 m^{-3}$, el valor promedio (0,020) significa una diferencia del 2,0%, referido al contenido volumétrico de agua. El NRMSE no superó en ningún caso el 10%. Los valores de los indicadores muestran que los sensores Decagon Modelo Teros I10 brindaron datos suficientemente precisos, sin necesidad de cambiar los parámetros de la ecuación de calibración de fábrica. El ajuste entre valores observados y simulados (especialmente el R^2) podría mejorarse aplicando ciertas correcciones. Una de ellas es revisar la instalación de los sensores, para comprobar si se logró un adecuado contacto con el suelo, lo cual suele ser problemático. Otro aspecto importante sería disponer de un mayor rango de datos de humedad a los registrados en las parcelas. Las mediciones se hicieron en cultivos comerciales regados por goteo, en los que la humedad se mantuvo en valores altos durante todo el ciclo (entre el 30% y el 45% HV aproximadamente), no disponiéndose de datos en condiciones de suelo más seco.

Ajuste de datos de humedad de suelo estimados con sensores remotos

Se analizaron las limitaciones y potencialidades de los productos derivados de imágenes satelitales para la estimación de la humedad del suelo y su uso práctico en la toma de decisiones de riego. El área de estudio fueron las siete áreas piloto del proyecto. El set de datos contiene información sobre características físicas de suelos (densidad aparente, textura) e índices espectrales derivados de Sentinel 2, de 57 lotes de cultivos de algodón, alfalfa, frijol, chiltoma (pimiento) tomate y frutilla en las áreas piloto de Argentina, Nicaragua y Uruguay. Se realizaron mediciones de humedad de suelos aproximadamente cada 14 días, en el período julio del 2021 a marzo del 2023, a diferentes profundidades (según la profundidad de exploración radicular de los cultivos). Los intervalos de muestreo fueron: algodón 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm; alfalfa 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-125, 125-150 cm; frutilla 0-15, 15-25 y 25-40 cm; frijol y chiltoma 0-20 y 20-40 cm. A cada dato de humedad se le asociaron los datos de textura (contenido de arena, limo y arcilla), y densidad aparente (Dap) del suelo en la profundidad de medición, y los índices espectrales Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI), Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Modificado (MSAVI2) e Índice Diferencial de Agua Normalizado



(NDWI), calculados a partir de un apilado de imágenes del mes anterior a la fecha de medición. El set de datos contiene 2364 registros, la variable objetivo es la humedad en porcentaje, medida por el método gravimétrico. Los datos de textura y Dap se determinaron a través de extracciones de muestras en cada uno de los lotes; cuando no se dispuso de datos medidos de Dap, se estimaron mediante funciones de pedotransferencia (Rawls y Brakensiek 1982). Los índices espectrales se obtuvieron a través de la plataforma en la nube Google Earth Engine (GEE), mediante scripts desarrollados ad hoc. Se hizo un análisis de cada variable predictora en relación con la variable objetivo para observar cuáles de las variables están más relacionadas con la humedad y de qué forma. Cada punto representa los valores medidos de ambas variables para el set de datos completo.

UTILIZANDO LAS OBSERVACIONES DEL SET DE DATOS SE REALIZARON LOS SIGUIENTES PASOS:

Se evaluó la capacidad predictiva de un modelo, para lo cual se dividieron los datos disponibles en un conjunto de entrenamiento y un conjunto de prueba. Se tomó el 75% de observaciones para el entrenamiento y el 25% para validación, de forma aleatoria-estratificada; b) se seleccionó el algoritmo Gradient Boosting Tree (GBT) para entrenar el modelo de estimación de humedad; c) se ajustaron los hiperparámetros del modelo GBT, para luego proceder a hacer el ajuste con los datos de entrenamiento; d) para evaluar un modelo final se hicieron las predicciones sobre las observaciones del conjunto test y se obtuvo un RMSE de 3,46%; e) se determinó la importancia de las variables por permutación, las seis predictoras más importantes son: ndwi_max, arcilla, limo, arena, msavi2_min y dap. Los resultados muestran que GBT tiene un muy buen desempeño para predecir la humedad de los suelos a partir de datos de textura, densidad aparente e índices espectrales.

El documento completo del Producto 4 está disponible en:

<https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19037 - Producto 4 .pdf>

Resultado 2.2. Software para el cálculo del balance hídrico, operativo

El MDV del Resultado 2.2 es el Producto 5. El modelo desarrollado tiene como objetivo principal ayudar a la toma de decisiones en la gestión del agua, básicamente, definir los momentos de riego de los cultivos, de forma tal que no se produzca disminución de rendimientos como consecuencia de estrés hídrico. Su finalidad es ser una herramienta para mejorar la eficiencia de riego y disminuir la brecha de rendimientos. El modelo realiza un balance de agua del suelo, mediante metodologías de cálculo tradicionales y/o con el apoyo de imágenes satelitales y productos derivados de satélites. Tiene un marco conceptual, componentes o módulos y algoritmos de cálculo. Está destinado a brindar servicio a productores, asesores técnicos y agentes de extensión, buscando un equilibrio entre el requerimiento de datos a ingresar, practicidad y calidad de la información generada. El modelo cuenta con cinco módulos de entrada de datos (lote, cultivo, suelo, clima, riego) y un módulo de cálculos (balance hídrico-programación del riego). A continuación, se describen los módulos, la información que se ingresa, las unidades y los procedimientos de cálculos.

Datos del lote

Se ingresan los siguientes datos:

Identificación del campo, Identificación del lote, Cultivo, Fecha de siembra, Método de riego, Tipo de explotación

Identificador del campo: es el nombre ingresado por el usuario para identificar el campo en el cual se encuentra el lote, Por ejemplo 'La María'

Identificación del lote: es el nombre ingresado por el usuario para identificar el lote, Por ejemplo 'Lote 2A'

Cultivo: inicialmente se podrá seleccionar un cultivo de un conjunto de cultivos que se monitorean en el marco del proyecto. Una vez escalado el proyecto, se podrán dar de alta otros cultivos.

Fecha de siembra: se ingresa en formato dd/mm/aaaa en el cuadro correspondiente.



Método de riego: se debe seleccionar el método de riego desde un conjunto de opciones: manto, surco, aspersión, goteo.

Tipo de explotación: se debe seleccionar el método de riego desde un conjunto de opciones: agrícola, agrícola-ganadera, lechera, cítrica y frutícola, hortícola.

Datos de cultivo

Se ingresan los siguientes datos:

Nombre del cultivo, Fecha de siembra o trasplante, Profundidad del crecimiento de raíces, Duración de las etapas de crecimiento, Coeficiente de cultivo (Kc) inicial, máximo y final, Fracción de agotamiento crítico o permisible (p), Fecha de cosecha.

Nombre del cultivo: es la identificación del cultivo, que permite especificar alguna particularidad del cultivo. Por ejemplo: “algodón tardío” o “alfalfa de primavera-verano”.

Fecha de siembra o trasplante: es la fecha de siembra o trasplante del cultivo en el lote donde se hace el seguimiento. Se ingresa en formato dd/mm/aaaa en el cuadro correspondiente.

Profundidad del crecimiento de raíces: la profundidad inicial de las raíces se considera 0,20 metros (m) por defecto y la máxima profundidad se alcanza cuando se inicia la etapa de mediados de temporada.

Duración de las etapas de crecimiento: es la duración, expresada en días, de las cuatro etapas de crecimiento del cultivo: etapa inicial, etapa de desarrollo del cultivo, etapa de mediados de temporada y etapa final.

Coeficiente de cultivo (Kc) inicial, máximo y final: son los valores de Kc correspondientes a las cuatro etapas del cultivo: Kc inicial, Kc de desarrollo, Kc de mediados de temporada y Kc de fin de temporada.

Fracción de agotamiento crítico o permisible (p): es el contenido de humedad en el suelo a partir del cual ocurre estrés debido a que la disponibilidad de agua no es adecuada.

Datos de suelo

En este módulo se ingresan los siguientes datos.

- Textura
- Agua disponible total o agua útil (mm)
- Agua útil inicial (al momento de la siembra o plantación), en mm.

Datos de lluvia

Se ingresan datos diarios de lluvia, en mm. El modelo tiene la opción de acceder a los datos de lluvia directamente de estaciones meteorológicas automáticas, de forma remota y en tiempo real.

Datos de clima

En este módulo se calcula la evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante la metodología FAO Penman-Monteith (FAO-PM, Allen et al 2006) a partir de datos meteorológicos de estaciones automáticas, que se acceden de manera remota en tiempo real, usando la ecuación. El modelo también tiene la opción de ingresar directamente valores de ET_o medidos, estimados por FAO-PM, o por otros métodos.

Datos de riego

Se ingresan los riegos aplicados durante el ciclo del cultivo.

Cálculo del balance hídrico

El balance hídrico durante el ciclo del cultivo se calcula diariamente, usando la información de los módulos de clima, suelo, cultivo y riegos, para estimar el agua disponible sobre el umbral de riego. Cuando este valor se

acerca a 0, se dispara la alarma de riego, para que el contenido de humedad no caiga por debajo del umbral. La dosis de riego a aplicar son los mm necesarios para llevar el contenido hídrico del suelo desde el umbral hasta capacidad de campo (lámina neta). Específicamente, el procedimiento de balance diario se hace con la Ecuación 1.

$$\Theta_{ur}(i) = AU(i-1) + P(i) - ET_c(i) - ES(i) \quad (1)$$

Donde

$\Theta_{ur}(i)$ contenido de humedad sobre el umbral de riego en la zona radicular al final del día i [mm],

$AU(i-1)$ agua útil en la zona radicular al final del día anterior

$P(i)$ precipitación en el día i [mm],

$ET_c(i)$ evapotranspiración del cultivo en el día i [mm],

$ES(i)$ escurrimiento superficial en el día i [mm],

También es posible ingresar datos de humedad de suelo medidos *in situ*, para verificar los cálculos del modelo y corregir, de ser necesario, el contenido de agua sobre el umbral de riego. Cuando se ingresa un valor de humedad medido (expresado en mm), el balance se retoma a partir de este dato y no a partir de $AU(i-1)$.

El software estará completamente operativo entre los meses de diciembre de 2023 y enero de 2024. Previamente a su publicación, se deberá contar con las autorizaciones y avales de FONTAGRO, para cumplir con los requisitos del Manual de Operaciones y del Manual de Comunicación y Gestión del Conocimiento.

El documento completo del Producto 5 está disponible en:

https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19037_Producto_5.pdf

Resultado 2.3. Aplicación de telefonía móvil y sitio web del SAR, operativos

Los MDV del Resultado 2.3 son los Productos 6 y 7. Las plataformas estarán completamente operativas entre diciembre de 2023 y enero de 2024. El sitio web y la *app* del SAR tienen como objetivo principal ayudar al productor a establecer la programación del riego, esto es, definir cuándo y cuánto regar. La recomendación se basa en información de cultivo, suelo, clima y contenido de humedad del suelo. Tienen un diseño sencillo y amigable, de forma tal que con una navegación simple se puede ingresar datos o acceder a la información. El estado hídrico del cultivo se muestra gráficamente a través de figuras que indican la situación siguiendo los colores de un semáforo. Cuando se indica color verde, el contenido de humedad del suelo es adecuado; cuando es color rojo, la humedad del suelo no es adecuada y el cultivo sufre estrés hídrico. El color amarillo es de advertencia, indicando que en los próximos días habría que regar, ya que la humedad del suelo se está acercando al umbral de riego. La versión del SAR para uso a escala de distrito de riego lamentablemente no pudo concretarse, por el tiempo que insumió el desarrollo de la versión a escala predial. Previamente a la publicación de las plataformas, se deberá contar con los avales de FONTAGRO, para cumplir con los requisitos del Manual de Operaciones y del Manual de Comunicación y Gestión del Conocimiento.

Los documentos completos de los productos 6 y 7 están disponibles en:

https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Proy. FONTAGRO AgTech 19037. Nota t%C3%A9cnica Producto_6_final.pdf

https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/17245-19037 - Producto_7.pdf

COMPONENTE 3. IMPLEMENTACIÓN, IMPACTO Y ESCALAMIENTO EL SAR.

Resultado 3.1. SAR en funcionamiento



El MDV del Resultado 3.1 es el Producto 8. Se realizaron pruebas iniciales del funcionamiento de las plataformas del SAR en predios de las áreas piloto y se cuantificó el impacto preliminar de su uso. El principal impacto del uso del SAR es el aumento del rendimiento de los cultivos debido a un mejor uso del agua (programaciones de riego ajustadas a las necesidades de agua). Los rendimientos aumentaron entre un 22% y un 68%, según el cultivo. Asociado a los mayores rendimientos, podría lograrse un aumento en los ingresos de los agricultores, que varía entre 580 y 41.000 USD.ha⁻¹, también dependiendo del cultivo. A escala nacional, el impacto económico asociado al uso de un SAR varía, según los cultivos, entre 1.318.200 y 128.000.000 de USD. Cincuenta y cinco hectáreas (ha) han adoptado las innovaciones de manera directa, en etapa experimental. En una primera etapa de escalamiento, pueden alcanzarse 5.040 ha. La Tabla 6 muestra los rendimientos medios de los cultivos en las áreas piloto del proyecto, los rendimientos logrados en los predios experimentales y el aumento de rendimientos.

Para consolidar el uso del SAR en su etapa de escalamiento, se hacen las siguientes recomendaciones: tener en cuenta las diferentes condiciones productivas y de acceso a la información por parte de los agricultores, identificadas durante la ejecución del proyecto; generar un mayor grado de confianza con el productor para que, después de la interacción inicial con los técnicos, pueda continuar trabajando sin el apoyo continuo de las instituciones. Acompañar el trabajo en las áreas piloto durante dos o tres temporadas posteriores a la finalización del proyecto permitirá potenciar el uso del SAR y fomentar su adopción por los productores.

El documento completo del Producto 8 está disponible en:

https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/AgTech_19037_-_Producto_8.pdf

Resultado 3.2. Bases para el escalamiento del proyecto, establecidas.

El MDV del Resultado 3.2 es el Producto 9. Se presentó la estrategia general de un modelo de negocios, cuyo objetivo es apoyar el escalamiento del SAR. Un modelo de negocios incluye, entre otros, los siguientes ítems: explicar claramente los servicios que brindan las innovaciones, sus características principales y qué ventajas competitivas tienen respecto de otras herramientas similares; identificación de potenciales clientes (análisis de mercados); estrategia de marketing; qué opciones se plantean para generar ingresos; explorar las posibilidades de financiamiento; estrategias de alianzas y actualización del producto. Para el SAR, el modelo de negocios apunta a generar ingresos suficientes para mantener en funcionamiento y actualizadas las plataformas, sin buscar ánimo de lucro por su uso, fomentando la inclusión de los agricultores a la digitalización para la toma de decisiones sobre el manejo del agua. En este marco, la captación de fondos para dar sustentabilidad y escalar el SAR provendrá de diversas fuentes: instituciones donantes, agencias gubernamentales y trabajo colaborativo con asociaciones de agricultores y consorcios de regantes.

El documento completo del Producto 9 está disponible en:

[https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19037_-_PRODUCTO_9_\(Apr\).pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19037_-_PRODUCTO_9_(Apr).pdf)

Resultado 3.3. Difusión de los resultados del proyecto, realizada

El MDV del Resultado 3.3 es el Producto 10, del cual se hicieron dos entregas, en las que se informaron los productos del conocimiento logrados durante la ejecución del proyecto: informes y memorias de webinarios y talleres internacionales, artículos periodísticos, publicaciones y boletines de difusión en redes sociales y en sitios web de las instituciones participantes, informes de avances de tesis de posgrado, publicaciones con referato. Se puede acceder a los documentos completos del Producto 10 en:

https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/Proy_FONTAGRO_AgTech_19037_Nota_t%C3%A9cnica_Producto_10_final_Dic_2021.pdf

[https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19037_-_Producto_10_\(Apr\).pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19037_-_Producto_10_(Apr).pdf)

INDICADORES TÉCNICOS



Categoría	Indicador	Cantidad
Producción	Incremento de rendimiento de algodón (Argentina, %)	67
	Incremento de rendimiento de alfalfa (Argentina, %)	33
	Incremento de rendimiento de pimiento (Uruguay, %)	68
	Incremento de rendimiento de frutilla (Uruguay, %)	52
	Incremento de rendimiento de tomate (Nicaragua, %)	62
	Incremento de rendimiento de frijol (Nicaragua, %)	22
	Incremento de rendimiento de pimiento (Nicaragua, %)	63
Fortalecimiento de capacidades	Número de Informes técnicos y boletines	29
	Número personal público capacitado	43
	Número instituciones fortalecidas	6
	\$ Inversión I+D+I	459.005
	Artículos, presentaciones, publicaciones técnicas y otros productos de diseminación (número de visitas en webinarios)	2.157
	Talleres, cursos, días de campo, giras (número de talleres internos presenciales)	2
	Talleres, cursos, días de campo, giras (número de seminarios internacionales presenciales)	2
	Talleres, cursos, días de campo, giras (número de webinarios internacionales)	2
	Talleres, cursos, días de campo, giras (número de reuniones con productores)	53
	Artículos, presentaciones, publicaciones técnicas y otros productos de diseminación (número de ponencias en seminarios y webinarios internacionales)	17
	Artículos, presentaciones, publicaciones técnicas y otros productos de diseminación (número de videos)	2
	Artículos, presentaciones, publicaciones técnicas y otros productos de diseminación (notas en TV y radio)	4
Socioeconómico	Número de diagnósticos de líneas de base	7
	Beneficiarios (número de personas capacitadas)	194
	Beneficiarios mujeres, jóvenes, pueblos originarios que participan de iniciativas)	36
	Beneficiarios (número potencial de beneficiarios directos)	1.550
	Superficie intervenida (área de influencia del proyecto)	5.040
	Beneficios, ingresos económicos. Incremento en USD/ha. Algodón, Argentina	1.600
	Beneficios, ingresos económicos. Incremento en USD/ha. Alfalfa, Argentina	1.200



	Beneficios, ingresos económicos. Incremento en USD/ha. Pimiento, Uruguay	16.900
	Beneficios, ingresos económicos. Incremento en USD/ha. Frutilla, Uruguay	41.000
	Beneficios, ingresos económicos. Incremento en USD/ha. Tomate, Nicaragua	31.100
	Beneficios, ingresos económicos. Incremento en USD/ha. Frijol, Nicaragua	580
	Beneficios, ingresos económicos. Incremento en USD/ha. Chiltoma, Nicaragua	22.900

HALLAZGOS DESTACADOS

Por lo observado en las áreas piloto del proyecto, el impacto de la mejora de las prácticas de riego (incremento de los rendimientos de los cultivos y de los ingresos) puede dividirse en dos grandes grupos, según la caracterización de los productores. Por un lado, los agricultores que cultivan para autoconsumo y (si los disponen), venden excedentes de producción en mercados locales. En este grupo, el principal impacto de mejorar las prácticas de riego sería aportar a la seguridad alimentaria de las familias e incrementar los excedentes para comercialización. Otro grupo es el de los agricultores que tienen un nivel de tecnificación medio y sus decisiones productivas están orientadas a los mercados locales y/o nacionales. Aquí, el principal impacto de un riego más eficiente sería el incremento de los rendimientos y los ingresos de los productores. Estas realidades diferentes, a las cuales puede sumarse el distinto grado de acceso a la información por parte de los agricultores, llevaron a hacer adaptaciones durante el desarrollo del SAR. Para que una plataforma de asesoramiento de riego sea exitosa y haya una verdadera adopción, se necesita generar confianza con los productores, proceso que no siempre se cumple acabadamente.

Se identificaron temas no directamente abordados en el proyecto, pero sí estrechamente relacionados, en los que sería necesario dar mayor apoyo a los productores, tales como: diseño, operación y mantenimiento de sistemas de riego, conocimiento de la cantidad y calidad del agua que disponen y usan, la evaluación del funcionamiento de los sistemas de riego, la importancia de usar la información climática para la toma de decisiones.

HISTORIAS EN EL CAMPO

Los agricultores destacaron la importancia de contar con estaciones meteorológicas que brindan información cercana a sus fincas. No solamente para usos más directamente relacionados al proyecto (estimación de las necesidades de agua de los cultivos), sino también otros, tales como: estimar, de acuerdo a las tendencias de las variables meteorológicas, si se darán condiciones predisponentes para la aparición de insectos, plagas o enfermedades; definir el momento de corte de pasturas para ensilado o enfardado, según la humedad atmosférica; definir el momento adecuado de aplicación de fitosanitarios, de acuerdo a la intensidad y dirección del viento.

Las recorridas y reuniones en las áreas piloto mostraron la necesidad de potenciar los sistemas de extensión y transferencia de los INIAs sobre numerosos aspectos relacionados al riego. Los agricultores mencionaron la necesidad de que los organismos responsables de la administración del riego inicien un proceso de modernización (tanto en la infraestructura como en su gestión), que permita acompañar las innovaciones que se desarrollan en el proyecto, que se enfocan en el manejo del riego en la parcela. También se identificó como necesario el apoyo que los INIAs puedan dar a la realización de gestiones ante otros organismos, básicamente los organismos nacionales o provinciales responsables de la gestión del riego. El interés en el proyecto demostrado por los agricultores en las reuniones realizadas en las áreas piloto estimula a las instituciones participantes a continuar con esta línea de trabajo. Es interesante destacar tres frases expresadas por agricultores: “en nuestra comunidad, esperamos proyectos que nos ayuden a usar mejor el agua con misma la



ansiedad con que los novios se esperan en el altar antes de la boda” (Nicaragua); “el buen riego es solución de muchos problemas, pero si riegas mal, es *el problema*” (Argentina); “el uso de sensores de humedad del suelo ayuda a mejorar nuestro trabajo, somos más conscientes de la cantidad de agua que estamos aplicando” (Uruguay).

DISCUSIÓN

La discusión de los resultados obtenidos se refiere al Componente 2, ya que en él se desarrollaron las actividades esenciales de investigación e innovación del proyecto, específicamente las actividades 2.1 “Calibrar y validar datos de humedad de suelo obtenidos mediante sensores de campo y remotos” y 2.2 “Calibrar y validar un modelo de cálculo de balance hídrico”.

Ajuste de datos de humedad de suelo obtenidos por sensores de campo y remotos

Los sensores dieléctricos o de capacitancia estiman la permitividad dieléctrica aparente (ϵ_b) de un volumen de suelo, la cual depende principalmente de su contenido hídrico, pero está determinada también por otras propiedades de los suelos, tales como la salinidad, textura y contenido de materia orgánica. La influencia de estos factores depende de la frecuencia del campo electromagnético que generan los sensores y puede ser importante en aquellos que trabajan a frecuencias comprendidas entre 1 a 200 MHz (Schilardi et al 2015), rango en el cual opera los sensores Decagon Modelo Teros I10 (70 MHz), que se usaron en el proyecto. Los sensores tienen una ecuación de fabricación para estimar el contenido hídrico de los suelos a partir de la ϵ_b . En general las diferencias entre la humedad gravimétrica y la humedad determinada por este tipo de sensores varían entre un 10% y 15%, por lo que hay necesidad de calibrarlos para disminuir los errores de medición. La calibración y validación de sensores es un trabajo laborioso, que, en general, hay que hacer para cada sensor individualmente, para cada tipo de suelo e, incluso, para cada horizonte. Es necesario hacer una calibración fina de los sensores cuando se necesita hacer balances hídricos precisos, tarea esencialmente ligada a experimentos de investigación sobre las necesidades de agua de los cultivos. Cuando se requiere hacer un seguimiento de la humedad del suelo para tomar decisiones prácticas de riego en un cultivo comercial (objetivo central del SAR), sería más recomendable concentrar esfuerzos en estimar la capacidad de campo y el umbral de riego con la información que brindan los sensores, basando la toma de decisiones de riego en esos valores relativos (Schilardi et al 2015). Es también muy importante su correcta instalación, siguiendo las recomendaciones del fabricante, para no generar errores mayores al propio error asociado a la ecuación de calibración de fábrica del sensor (Marano et al 2012). Los valores medios de los indicadores R^2 (0,757), RMSE (0,020) y NMRSE (5,28%) mostraron que los sensores Decagon Modelo Teros I10 brindaron datos precisos, a los fines del objetivo del proyecto, sin necesidad de cambiar los parámetros de la ecuación de calibración de fábrica.

Respecto de los sensores remotos y su aplicación en el manejo del riego, en el proyecto se introduce un enfoque basado en el aprendizaje automático para ajustar modelos que permitan predecir la humedad de los suelos a partir de datos de sensores remotos ópticos y datos de campo medidos *in situ*. La teledetección ofrece la posibilidad de realizar mediciones periódicas de la humedad del suelo. Los enfoques actuales pertenecen a dos categorías principales: los basados en la teledetección activa o pasiva por microondas y los basados en la teledetección óptica (radiación de onda corta y radiación térmica). Más allá de los enfoques de modelización más tradicionales, el aprendizaje automático o *machine learning* (ML) ofrece algunos enfoques alternativos. Debido a la gran complejidad de los modelos físicos, la popularidad del ML para la estimación basada en teledetección de parámetros biofísicos ha crecido significativamente en la última década (Ali 2015). Estos métodos presentan dos ventajas significativas: a) permiten la construcción de modelos de estimación más objetivos, basados exclusivamente en datos, independientes de los supuestos necesarios y b) permiten la combinación de datos de



diferentes fuentes (como la combinación de datos ópticos, de microondas, características de suelos), aprovechando su relación con una variable objetivo.

Las tecnologías de sensores remotos en el rango de las microondas han demostrado tener el potencial de detectar y monitorear cambios relativos al contenido de humedad de una superficie a tiempos regulares y en condiciones independientes del clima y la luz solar (Solorza 2013). De allí que numerosos estudios se desarrollan utilizando, de manera complementaria, diferentes productos: SMAP - Soil Moisture Active and Passive y Sentinel-1 (Lievens et al 2017); Sentinel 1 con índices de vegetación derivados de sensores remotos ópticos para cuantificar el efecto de la condición de la vegetación en la estimación de humedad de suelo (Qiu et al 2019); Sentinel 1A, Sentinel 2A, SMAP (Lizarazo y Mancera 2017). A todos los productos disponibles, se suman los productos SAOCOM (Misión del Satélite Argentino de Observación CON Microonda), impulsada por la CONAE y el INTA, cuyo objetivo principal es estimar la humedad en el suelo.

La mayoría de los algoritmos basados en microondas se basan en el mismo principio, utilizar las propiedades dieléctricas del agua y su efecto sobre la radiación de microondas reflejada (Ulaby et al 1978). Existen muchos enfoques diferentes para la teledetección óptica, que aprovechan la relación entre la reflectancia de la superficie y los cambios en los índices de vegetación o la temperatura de la superficie (Zhang y Zhou 2016). Las ventajas de las microondas son su baja sensibilidad a las condiciones atmosféricas, la iluminación solar y las nubes, y el hecho de que existe una relación física directa entre el contenido de humedad del suelo y la energía emitida y reflejada (Ulaby et al., 1978). Sin embargo, las mediciones también se ven influidas por el contenido de agua de la vegetación y la estructura y rugosidad de la superficie, que pueden ser difíciles de estimar. Para las estimaciones basadas en la teledetección óptica existen muchos enfoques diferentes, que se distinguen por la frecuencia temporal de los productos. Las principales ventajas de estos métodos son los numerosos satélites ópticos existentes y la gran disponibilidad de datos en diferentes resoluciones espaciales y espectrales. Los métodos basados en la luz visible y el infrarrojo cercano suelen aprovechar las propiedades de reflectancia de la superficie del suelo desnudo para el que los estudios han mostrado una correlación negativa de la reflectancia en las bandas de absorción de agua y el contenido de humedad del suelo. Debido a esta dependencia, varios índices de sequía, como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) o el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), pueden servir como aproximación. Las imágenes Sentinel-2, distribuidas por la Agencia Espacial Europea (ESA) son ampliamente utilizadas por ser de libre distribución y por su resolución espacial, temporal y espectral. La resolución espacial es la unidad mínima de información incluida en la imagen (píxel), mientras que la resolución temporal se refiere a la periodicidad con la que éste adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre, Sentinel 2 tiene un tiempo de revisita de cinco días. La resolución espectral es el número de bandas en la que el sensor puede registrar la energía que se refleja desde la superficie. Estas características, las convierte en una opción muy interesante para el seguimiento de los cultivos, especialmente, en lotes agrícolas de dimensiones pequeñas. Los resultados iniciales muestran que el algoritmo Gradient Boosting Tree (GBT) tiene un buen desempeño para predecir la humedad de los suelos a partir de datos de textura, densidad aparente e índices espectrales. Se obtuvo un RMSE de 3,46% y las seis variables predictoras más importantes, determinadas por permutación fueron: `ndwi_sum`, `arena`, `arcilla`, `limo`, `msavi2_min`, `ndwi_min`.

Estudio de las características del software de balance hídrico

El software del SAR es un modelo simplificado de balance hídrico que tiene como objetivo principal ayudar a la toma de decisiones en la gestión del agua, básicamente, definir los momentos de riego de los cultivos, de forma tal de que no se produzca disminución de rendimientos como consecuencia de estrés hídrico. Las relaciones agua-rendimiento son, habitualmente, difíciles de predecir, ya que están determinadas por factores específicos locales. Para evaluar las eficiencias de las prácticas de riego, optimizar su programación (cuándo y cuánto regar) o establecer estrategias de riego deficitario, se debe tener un adecuado conocimiento de las relaciones suelo-agua-planta-atmósfera y, también, de las relaciones entre disponibilidad de agua, producción de biomasa y rendimiento de los cultivos.



Un enfoque para evaluar el uso y la productividad del agua en la agricultura se basa en el uso de modelos de simulación. Los modelos son una representación simplificada de la realidad y su objetivo es simular el funcionamiento de un sistema determinado, a través de un conjunto de ecuaciones. En el caso de los modelos agrícolas, su función principal es estimar la producción de los cultivos en función del clima, el suelo y el manejo tecnológico. En las últimas décadas se ha acelerado el conocimiento de los procesos fisiológicos que explican la relación entre el agua y los rendimientos; a su vez, la disponibilidad y precisión de instrumentos de medición (tanto de campo como de laboratorio) y el acceso a productos derivados de satélites, se han incrementado notoriamente. La concurrencia de estos factores ha estimulado el uso los modelos de simulación, con fines productivos, académicos, de investigación y extensión. La decisión sobre cuál modelo usar dependerá de los análisis requeridos, de los objetivos de investigación y de la disponibilidad de datos. Entre los modelos de mayor difusión se mencionan: CERES (Ritchie et al. 1985); el sistema de soporte de decisiones DSSAT (Jones et al. 2003); COTCROP (Brown et al. 1985), OZCOT (Hearn 1984), GOSSYM (Baker et al. 1983), APSIM (Wang E. et al. 2002) y CropSyst (Stockle et al. 2003). Estos modelos en general requieren información sobre parámetros de los cultivos que no es sencillo obtener (por ejemplo, coeficientes genéticos, grados-día para definir las etapas fenológicas). CROPWAT (Smith et al 1998) y AquaCrop (Steduto et al 2009) son modelos que se enfocan en la relación agua-rendimientos. CROPWAT es un modelo simplificado, que utiliza funciones empíricas, mientras que AquaCrop basa la relación entre el desarrollo y rendimiento de los cultivos con la disponibilidad de agua en el comportamiento conservador de la biomasa (B) producida por unidad de agua transpirada por el cultivo (Tr). De los modelos mencionados, CROPWAT es el que tiene más puntos en común con el software desarrollado en el proyecto.

CONCLUSIONES

Los resultados comprometidos para este componente se cumplieron según lo previsto. Se caracterizaron las áreas piloto, se fortalecieron las redes de información agrometeorológica y se desarrolló la infraestructura del SAR.

Los resultados se alcanzaron de acuerdo con lo comprometido. Se analizó el ajuste de los datos de humedad de suelo obtenidos por sensores de campo y remotos y se definieron las características del software de balance hídrico. Las TICs del SAR comenzaron a aplicarse en las áreas piloto y estarán totalmente operativas entre diciembre de 2023 y enero de 2024, para luego iniciar su escalamiento. En este componente se concretaron las principales innovaciones del proyecto:

- a) El SAR, que permite al usuario establecer programaciones de riego, esto es, definir cuándo y cuánto regar. Las plataformas son un sitio web y una aplicación para telefonía móvil.
- b) El uso de imágenes satelitales para la estimación del contenido de agua del suelo, mediante el algoritmo Gradient Boosting Tree (GBT), que será una importante herramienta de apoyo para el ajuste de las estimaciones del balance hídrico del software.

Los resultados comprometidos para este componente se cumplieron según lo previsto. Se elaboró un modelo de negocios basado en la metodología CANVAS, base para el plan de escalamiento del SAR. Se cuantificó de manera preliminar el impacto del uso del SAR en las fincas donde se hizo el seguimiento de los cultivos. Se difundieron los resultados del proyecto por diversos medios.



RECOMENDACIONES

Iniciar o fortalecer acciones de investigación, extensión y transferencia de tecnologías sobre el manejo del riego en el marco de la cartera de proyectos de las instituciones participantes y elaborar perfiles de proyectos para financiamiento externo, que aborden los aspectos mencionados.

Las diferentes condiciones productivas y de acceso a la información por parte de los agricultores deben tenerse en consideración durante el desarrollo y posterior uso de herramientas como el SAR.

Se requiere generar un adecuado grado de confianza con el productor para que, después de la interacción inicial con los técnicos, pueda continuar trabajando sin el apoyo continuo de las instituciones. Acompañar el trabajo en las áreas piloto durante dos o tres temporadas posteriores a la finalización del proyecto permitirá consolidar el uso del SAR y fomentar su adopción por los productores. La continuidad de su uso permitirá ajustar las recomendaciones que se realizan, por tratarse de diversos cultivos y condiciones climáticas muy variables entre los países.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto-Rodríguez, Carlos; Wellington Farias Araújo; Pollyana Cardoso Chagas; Edvan Alves Chagas; João Lopes Monteiro N.; Raphael Da Silva Siqueira; Samara Martins Barbosa; Valdinar Ferreira Melo y Miguel A. Maffei Valero (2020). "Calibración de sensores de reflectometría de dominio de frecuencia para estimar la humedad en un suelo Geric Xanthic Ferrasol". *Bioagro* 32(2): 123-130. 2020.
- Ali, I, F. Greifeneder, J. Stamenkovic, M. Neumann, C. Notarnicola (2015). "Review of Machine Learning Approaches for Biomass and Soil Moisture Retrievals from Remote Sensing Data". *Remote Sens.* 2015, 7, 16398–16421.
- Allen, R.G. (2011). "Skin layer evaporation to account for small precipitation events-An enhancement to the FAO-56 evaporation model". *Agricultural Water Management*, 99(1): 8-18.
- Allen, R. G.; L. S. Pereira; D. Raes; M. Smith (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. FAO.
- Altobelli, F., Lall, U., Dalla Marta, A., Caracciolo, F., Cicia, G., D'Urso, G., & Del Giudice, T. (2018). "Willingness of farmers to pay for satellite-based irrigation advisory services: a southern Italy experience". *The Journal of Agricultural Science*, 156(5), 723-730. Doi:10.1017/S0021859618000588.
- Angella, G. (2016). *Sistema de Riego del Río Dulce, Santiago del Estero, Argentina. Brecha de rendimientos y productividad del agua en los cultivos de maíz y algodón*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. 155 páginas. Editor: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- Angella, G.; C. Frías; R. Salgado (2016). *Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta*. INTA Ediciones. Colección Divulgación. ISSN: 1850-4086. Nº 93.
- Angueira C.; D. Prieto; J. López; G. Barraza (2007). *Sistema de Información Geográfica de Santiago del Estero*. SigSE V. 2.0. CD. ISBN 987-521-170-2. INTA.
- Baker, D.N.; J.N. Larnbert and J.M. McKinion (1983). *GOSSYM: A simulator of cotton growth and yield*. Tech. Bull. 1089. South Carolina Agric. Exp. Stn., Clemson.
- Bausch, W., C. Neale (1987). *Crop coefficients derived from reflected canopy radiation: a concept*. Transactions of the ASAE 30, 703–709.
- Brown, L.G.; J.W. Jones; J.D. Hesketh; J.D. Hartsog; F.D. Whisler and F.S. Harris (1985). *COTCROP: Computer simulation of growth and yield*. Information Bull. No. 69. Agric. Forest. Exp. Stn., Mississippi State, MS.
- Calera A., I. Campos y J. Garrido-Rubio (2016). *Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. Jornada técnica de innovación en gestión del regadío mediante redes agroclimáticas, teledetección y sistemas de información*. CENTER. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/images/es/caleraaccesoasecuenciastemporales2_tcm30-131718.pdf
- Caumo, M.; A. Gioria y O. Santillán (2014). *El Área de Riego del Río Dulce y la actividad agrícola de subsistencia*. Revista Trazos Universitarios. ISSN 1853-6425. Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad Católica de Santiago del Estero. Recuperado de: <http://revistatrazos.ucse.edu.ar/index.php/download/el-area-de-riego-del-rio-dulce-y-la-actividad-agricola-de-subsistencia/?wpdmdl=397>.
- Enciso, J.; D. Porter and X. Périès (2007). *Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego*. Texas A&M AgriLife Extension Service. B-6194S 08/07. Recuperado de: <http://baen.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/24/2017/01/E-618S-Irrigation-Monitoring-with-Soil-Water-Sensors.-Spanish-Version.pdf>
- FAO (2015). *Estudio del potencial de ampliación de riego en Argentina*. ISBN 978-92-5-308995-6. Buenos Aires, Argentina. FAO.
- FAO (2014). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma, Italia.
- FAO (2014b). *Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Políticas*. Roma, Italia.

- Greifeneder, F., C. Notarnicola, W. Wagner (2021). "A Machine Learning-Based Approach for Surface Soil Moisture Estimations with Google Earth Engine". *Remote Sens.* 2021, 13, 2099. <https://doi.org/10.3390/rs13112099>.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). "Reference Crop Evapotranspiration from Temperature". *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2),96–99. Recuperado de: <https://doi.org/10.13031/2013.26773>
- Harvard Humanitarian Initiative (2021). *KoBoToolbox Data Collection Tools for Challenging Environments*. Recuperado de: www.kobotoolbox.org .
- Hearn, A.B.; G.A. Constable (1984). "Irrigation for crops in a sub-humid environment. Evaluation of irrigation strategies for cotton". *Irrig. Sci.* 5:75–94.
- Heilman, J., W. Heilman y D. Moore (1982). "Evaluating the crop coefficient using spectral reflectance". *Agronomy Journal*, 74: 967-971.
- INDEC (2015). *Encuesta Nacional sobre Acceso y Uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (ENTIC)*. Ministerio de Economía, Argentina.
- INIDE-MAGFOR (2013). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) y Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR). Managua, Nicaragua.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), República Argentina (2010). Censo Nacional de Población, hogares y Viviendas 2010. Recuperado de: <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), República Argentina (2018). *Censo Nacional Agropecuario 2018*. Recuperado de: <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>.
- Instituto Nacional de Estadísticas, República Oriental del Uruguay (2011). *Censo Nacional 2011*. Recuperado de <https://www.ine.gub.uy/censos-2011>
- Intendencia Municipal de Canelones. Recuperado de: https://www.imcanelones.gub.uy/sites/default/files/pagina_sitio/archivos_adjuntos/a6_iae_aprob_prev.pdf .
- Intendencia Municipal de San José. Recuperado de: https://ods.gub.uy/images/SAN_JOSE - Informe_Localizacion_ODS.pdf
- Jones, J.; G. Hoogenboom; C.H. Porter; K.J. Boote; W.D. Batchelor; L.A. Hunt; P.W. Wilkens; U. Singh; A.J. Gijsman; J.T. Ritchie (2003). "The DSSAT cropping system model". *Europ. J. Agronomy* 18 (2003) 235/265.
- Lievens, H., R. Reichle, Q. Liu, G. De Lannoy, R. Dunbar, S. Kim & W. Wagner (2017). "Joint Sentinel-1 and SMAP data assimilation to improve soil moisture estimates". *Geophysical Research Letters*, 44(12), 6145–6153. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/2017GL073904>
- Lizarazo, I., & R. Mancera (2017). *Humedad del suelo a partir de datos obtenidos mediante teledetección. Uso de técnicas de regresión lineal múltiple para obtener una propiedad de interés en la zona de estudio*: Recuperado de: https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/324020_6826d946a9e04a59905e5db23aa0b6ca.html Consultado 8/10/2019
- Lorite, I.J., García-Vila, M., Carmona, MA. (2012). "Assessment of the Irrigation Advisory Services' Recommendations and Farmers' Irrigation Management: A Case Study in Southern Spain". *Water Resour Manage* 26, 2397–2419. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0023-3>
- Marano, R.; F. Ledesma; G. Camussi e I. Carnevale (2012). "Uso de sondas FDR para balance de agua en el suelo: calibración y aplicación". XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Martin, Edward C.; Muñoz, C. (2010). *Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego. ¿Cuándo?* Arizona Cooperative Extension. College of Agriculture, University of Arizona (Tucson, AZ). 2010. Descargado el 7/12/2022. Item License <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10150/625275>
- Mateos L., M. González-Dugo, L. Testi, F. Villalobos (2013). "Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. I. Method validation". *Agricultural*

- Ministerio Agropecuario (2017). *Mapa Nacional de Riego*. Ministerio Agropecuario de Nicaragua. Recuperado de: [https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Proy_FONTAGRO_RG-T3387-P002 - ATN-RF-17245-RG2022-SAR y TICs-Memoria taller Nicaragua Sept. 20221.p](https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Proy_FONTAGRO_RG-T3387-P002_ATN-RF-17245-RG2022-SAR_y_TICs-Memoria_taller_Nicaragua_Sept_20221.p)
- Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Uruguay (1979). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de las unidades de suelo*. Montevideo, MAP. v.3, 452 p.
- Municipalidad de El Sauce (2021). Ficha municipal. Recuperado de: file:///C:/Users/Investigacion_RIII/Downloads/FICHA%20MUNICIPAL%20Nombre%20del%20Municipio%20EL%20SAUCE%20Nombre%20del%20....pdf.
- Neale, C., W. Bausch, D. Heermann (1989). *Development of reflectance based crop coefficients for corn*. Transactions of the ASAE 32, 1891–1899.
- Obschatko, E., Foti, M, Román, M. (2007). *De los pequeños productores en la República Argentina: importancia en la producción agropecuaria y en el empleo en base al Censo Nacional Agropecuario 2002*. 2^{da} Edición revisada y ampliada. SAGPyA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 127 p.+CDROM. ISBN 978-987-9184-54-7. Buenos Aires, Argentina.
- Open Source Geospatial Content Management System (2021). Recuperado de: <https://geonode.org/>.
- Palacios-Vélez, E.; Julio Enrique Palacios-Sánchez, Luis Alberto Palacios-Sánchez (2011). *Agricultura de riego asistida con satélites*. Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería Hidráulica en México, vol. II, núm. 2, abril-junio de 2011, pp. 69-81.
- PostGIS Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL. Recuperado de: <https://postgis.net>.
- Revelo Luna, D., J. Megía Manzano, B. Montoya Bonilla y J. Hoyos García (2020). “Análisis de los índices de vegetación NDVI, GNDVI y NDRE para la caracterización del cultivo de café (*Coffea arabica*)”. *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 38, núm. 2, pp. 298-312, Fundación Universidad del Norte.
- Qiu J, W. Crow, W. Wagner & T. Zhao (2019). “Effect of vegetation index choice on soil moisture retrievals via the synergistic use of synthetic aperture radar and optical remote sensing”. *Int J Appl Earth Obs Geoinf.*;80:47-57. doi:10.1016/J.JAG.2019.03.015.
- Rawls, N.J y D. L. Brakensiek (1982). Estimating soil water retention from soil properties. *Journal of Irrigation and Drainage* Vol 108, Nro. 1r 2.
- Ritchie, J.T., D.C. Godwin; S. Otter-Nacke (1985). *CERES-Wheat. A simulation model of wheat growth and development*. Texas A&M Univ. Press, College Station.
- Schilardi, C; Rearte, E.; Martín, L.; Morábito, J. (2015). “Calibración a campo de sensores FDR. Limitaciones y potencialidades”. *Jornadas de Riego y Fertirriego*. Mendoza Argentina. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/309513454_CALIBRACION_A_CAMPO_DE_SENSORES_FDR_LIMITACIONES_Y_POTENCIALIDADES
- Sganga F., C. Cabrera, M. González, S. Rodríguez (2014). *Producción familiar agropecuaria uruguaya y sus productores familiares a partir de los datos del CGA 2011 y el registro de productores familiares*. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, República Oriental del Uruguay.
- Silva, B.M., G.C. Oliveira, M.E. Serafim, J.J. Silva Júnior, A. Colombo y J.M. I. Lima (2012). “Acurácia e calibração de sonda de capacitância em Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro”. *Pesq. Agropec. Bras.* 47(2): 277-286.
- Smith, M. “CROPWAT” (1999). *Programa de Ordenador para Planificar y Manejar el Riego*. Estudio FAO de Riego y Drenaje N° 46. Roma, Italia.
- Solorza, R. (2013). *Estimación de la humedad superficial del suelo mediante el uso combinado de modelos electromagnéticos y el enfoque bayesiano. Estudio exploratorio en imágenes SARAT*. Facultad de Matemática, Astronomía y Física y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich. Tesis de Magister en Aplicaciones Espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias – Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- 
- Steduto, P.; D. Raes; T. Hsiao; E. Fereres; L. Heng; G. Izzi; J. Hoogeveen (2009). "AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions". *Options Méditerranéennes*, Series A, No. 80.285-292.
- Stockle, C.; M. Donatelli; R. Nelson (2003). "CropSyst, a cropping systems simulation model". *European Journal of Agronomy*. Volume 18, Issues 3-4, January 2003, pages 289-307.
- Tapsuwan, S.; Johannes Hunink, Francisco Alcon, Aakfe N. Mertens-Palomares and Alain Baille (2015). "Assessing the design of a model-based irrigation advisory bulletin: the importance of end-user participation". *Irrig. and Drain*. 64: 228–240. Published online 29 November 2014 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/ird.1887.
- Ulaby, F., P. Batlivala, M. Dobson (1978). "Microwave Backscatter Dependence on Surface Roughness, Soil Moisture, and Soil Texture: Part I-Bare Soil". *IEEE Trans. Geosci. Electron*. 1978, 16, 286–295.
- Universidad Nacional Autónoma de México. Autores varios (2022). *Manual de Práctica de Desarrollo Rural. Diagnóstico Rural*. Recuperado de: https://fmvz.unam.mx/fmvz/licenciatura/coepa/archivos/Manuales/24_DESARROLLO_RURAL.pdf.
- Unver, O.; Melvyn Kay, Konda Chavva, Amali Abraham Amali, Eva Pek, Maher Salma (2020). "Development for water, food and nutrition in a competitive environment-How NGOs and CSOs are reshaping traditional farmer irrigation advisory services". *Irrig. and Drain*. 2021;70:431-447. DOI: 10.1002/ird.2444.
- Vera, C.; Baez, J.; Douglas, M.; Emmanuel, C.B.; Marengo, J.; Meitin, J.; Nicolini, M.; Nogues-Paegle, J.; Paegle, J.; Penalba, O.; Salio, P.; Saulo, C.; Silva Dias, M.A.; Silva Dias, P.; Zipser, E. (2006). "The South American low-level jet experiment" (2006) *Bulletin of the American Meteorological Society*. 87(1):63-77. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12110/paper_00030007_v87_n1_p63_Vera
- Vervelde, B. (2018). "Irrigation Performance Assessment in the Argentinean Province of Santiago del Estero". Tesis de Grado. Wageningen University & Research (Países Bajos). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/331651960_Irrigation_Performance_Assessment_in_the_Argentinian_province_of_Santiago_del_Estero
- Vuolo, F.; Guido D'Urso, Carlo De Michele, Biagio Bianchi, Michael Cutting (2015). "Satellite-based irrigation advisory services: A common tool for different experiences from Europe to Australia". *Agricultural Water Management* 147 (2015) 82-95.
- Wang E.; Robertson M.J.; Hammer G.L.; Carberry P.S.; Holzworth D.; Meinke H.; Chapman S.C.; Hargreaves J.N.G.; Huth N.I.; McLean G. (2002). "Development of a generic crop model template in the cropping system model APSIM". *European Journal of Agronomy* 18, 121–140.
- WMO (2018). *Guide to meteorological instruments and methods of observation No. 8*. World Meteorological Organization (WMO). ISBN 978-92-63-10008-5. Geneva, Switzerland.
- Zhang, D.; G. Zhou (2016). "Estimation of Soil Moisture from Optical and Thermal Remote Sensing: A Review". *Sensors* 2016, 16, 1308.



AGTECH 4. °AHORA: APLICATIVO PARA PRODUCTORES FAMILIARES DE MUSÁCEAS

RESUMEN

Los sistemas productivos de las musáceas, plátano y banano, se cultivan en todas las regiones tropicales y tienen importancia socioeconómica en todos los países donde se cultivan, principalmente en países en desarrollo. El proyecto AgTech financiado por Fontagro ATN/RF-17245-RG tiene como objetivo desarrollar y vincular en la comunidad, una aplicación web – móvil que permite mejorar la planificación y toma de decisiones de prácticas agronómicas en plantaciones de musáceas (plátano y banano) frente a la variabilidad climática, con especial referencia en la agricultura familiar de Colombia, Perú y República Dominicana. Para ello, el primer paso fue establecer la línea base o punto de partida acerca de los métodos de monitoreo de comportamiento del cultivo que emplean los productores y técnicos en las zonas de influencia del proyecto y el uso de aplicaciones similares a la propuesta. El presente documento expone, en primer lugar, una caracterización de los productores y técnicos de los tres países, realizada a partir de la aplicación de una encuesta estructurada. En segundo lugar, se presenta un estudio de vigilancia científica con el objetivo de identificar el uso de aplicativos similares al aplicativo °AHoRa en el mercado. El siguiente paso fue generar y validar modelos matemáticos que convierte datos locales meteorológicos y abióticos para realizar algunas proyecciones de rendimiento del cultivo. El proceso de validación se implementó en fincas tecnificadas de banano en las diferentes regiones productoras de los países aliados. Posteriormente, se elaboró un plan de negocios que contribuye a asegurar la sostenibilidad del aplicativo y a alcanzar a la mayor cantidad de usuarios finales. Finalmente, la aplicación fue vinculada a pequeños productores y asistentes técnicos de las regiones productoras de banano y plátano de Colombia, Perú y República Dominicana. Como resultados se logró el desarrollo y validación de la versión móvil – web de la aplicación la cual permite cuantificar la tasa potencial de hojas, definir la fecha óptima de cosecha y el peso de la fruta en función de la acumulación de grados día, cuantificar las cantidades de nutrientes que requiere la planta para suplir sus requerimientos nutricionales en función de la extracción de nutrientes por tonelada cosecha de fruta y cuantificar las cantidades de agua requerida por la planta en función de un balance hídrico que tiene en cuenta la evapotranspiración del cultivo, la precipitación y los contenidos de humedad inicial en el suelo. El análisis de caracterización de productores y estudio de vigilancia tecnológica permitió identificar la necesidad que tienen los productores y asistentes técnicos de contar con herramientas tecnológicas que apoyen en la toma de decisiones sobre las prácticas agronómicas del cultivo, además, que hasta el momento no existía una App de uso libre dirigida a productores familiares de musáceas que incluya los cinco componentes o módulos que ofrece el aplicativo °AHoRa. La aplicación fue vinculada efectivamente al menos 1000 productores y 300 asistentes técnicos mediante la implementación de talleres presenciales, jornadas de actualización tecnológica y a través de plataformas digitales como youtube, páginas web corporativas entre otras.

Palabras claves: agricultura 4.0, agricultura climáticamente inteligente, agricultura familiar, banano, plátano.



ABSTRACT

The production systems of musaceae, plantain and banana, are cultivated in all tropical regions and have socioeconomic importance in all countries where they are grown, mainly in developing countries. The AgTech project funded by Fontagro ATN/RF-17245-RG aims to develop and link in the community, a web- mobile application to improve planning and decision making of agronomic practices in plantations of musaceae (plantain and banana) with regards to climate variability and special reference to family farming in Colombia, Peru, and the Dominican Republic. To this end, the first step was to establish a baseline or starting point on the methods used by producers and technicians in the project's areas of influence to monitor crop behavior and the use of similar applications to the one proposed. This document presents, first, a characterization of the producers and technicians in the three countries, based on the application of a structured survey. Secondly, a scientific surveillance study is presented with the objective of identifying the use of similar applications to the °AHOra application in the market. The next step was to generate and validate mathematical models that convert local meteorological and abiotic data to make some crop yield projections. The validation process was implemented in technified banana farms in the different producing regions of the partner countries. Subsequently, a business plan was developed to ensure the sustainability of the application and to reach the greatest number of end users. Finally, the application was linked to small producers and technical assistants in banana and plantain-producing regions of Colombia, Peru, and the Dominican Republic. As a result, the mobile-web version of the application was developed and validated, which allows 1) quantifying the potential leaf rate and defining the optimal date for harvesting the fruit based on the accumulation of degree days, 2) quantify the amounts of nutrients required by the plant to supply its nutritional requirements based on nutrient extraction per ton of fruit harvested, and 3) quantify the amounts of water required by the plant based on a water balance that takes into account crop evapotranspiration, rainfall and initial soil moisture content. The analysis of producer characterization and technological surveillance study identified the need of producers and technical assistants for technological tools to support decision-making on crop agronomic practices, and the fact that there was not yet a free App for family growers of musaceae that included the five components or modules offered by the °AHOra application. The application was effectively linked to at least 1,000 producers and 300 technical assistants through the implementation of face-to-face workshops, technology update days and through digital platforms such as youtube and corporate websites, among others.

Keywords: agriculture 4.0, climate-smart agriculture, family farming, bananas, plantain.

ANTECEDENTES

Los sistemas productivos se enfrentan a un entorno cada vez más vulnerable teniendo en cuenta los impactos negativos ocasionados por las anomalías climáticas involucradas al cambio climático que pueden afectar desde el óptimo desarrollo de los cultivos hasta la amenaza a la seguridad alimentaria, entre otros (Flórez y Uribe, 2018; Cárdenas et al., 2017). En el caso del cultivo de banano y plátano, la variación de los niveles óptimos de temperatura, precipitación y humedad relativa, afectan el desarrollo del cultivo e impactan directamente el rendimiento y en la incidencia y severidad de enfermedades (Távora, 2020). De acuerdo con Higuera (2015), las temperaturas por fuera del rango óptimo de 20 a 30°C pueden afectar tanto la emergencia de las flores como el llenado del racimo, así como en condiciones subóptimas de temperatura el ciclo de cultivo será más largo por la disminución en la tasa de crecimiento y por el aumento en la respiración. Además, los cambios de temperatura propician el desarrollo de plagas y enfermedades como la Sigatoka, mancha negra y otras plagas (Guarín, 2011; Yela et al., 2016). Por otra parte, el banano reporta gran sensibilidad al agua disponible en el suelo ya que las raíces al detectar un ligero déficit hídrico conllevan al cierre de estomas en las hojas para retener humedad, lo cual reduce la asimilación de carbono y como consecuencia la disminución de rendimiento (Thornton and Cramer, 2012). Por debajo del rango de precipitación óptimo de 1300 a 2600 mm por año, se puede disminuir la tasa de emergencia de las hojas, así como afectar el llenado y tamaño del racimo si ocurriera durante o después de la floración.

A pesar de la importancia de los factores abióticos y la variabilidad climática en las prácticas del cultivo de banano y plátano, muchos productores y técnicos de campo no los toman en cuenta, dejando de lado aspectos claves que inciden en la mejora de la producción del banano (Jiménez et al., 2013). En tal sentido, las tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en el sector agrícola y particularmente en el cultivo de banano, pueden consolidarse como un factor que permita potenciar la competitividad y productividad a través de la gestión de datos clave del sistema de manejo de cultivo. Aunque actualmente en el mercado de software y aplicativos, se identifican algunos programas que sirven para el cálculo de parámetros de crecimiento de cultivos o determinación de enfermedades en las plantaciones, estos aplicativos están referenciados principalmente a fuentes estadounidenses o europeas, y no son específicos para el cultivo de musáceas.

En línea con lo anteriormente expuesto, el proyecto **°AHOra: aplicación para productores familiares de musáceas** generó una aplicación web-móvil, que permite mejorar la planificación y toma de decisiones de prácticas agronómicas en plantaciones de musáceas (plátano y banano) frente a la variabilidad climática, con énfasis en la agricultura familiar de Colombia, Perú y República Dominicana.

Esta App se presenta como una posibilidad y opción para mejorar la gerencia del cultivo, gracias al aumento del conocimiento científico y técnico sobre la influencia de los factores abióticos en el crecimiento del cultivo de banano, la ampliación de redes locales de estaciones meteorológicas y de dispositivos móviles con capacidades de captación de datos e intercambio en tiempo real.

La aplicación web/móvil **°AHOra**, emplea datos captados de estaciones meteorológicas: temperatura, radiación solar, precipitación y evaporación potencial, para realizar algunas proyecciones del cultivo, como lo son: 1) tasa potencial de emisión de hojas, 2) tiempo promedio de floración a cosecha, con el fin de estimar el momento óptimo de cosecha, 3) peso potencial del racimo, 4) estimación de los nutrientes que deben ser restituidos al suelo luego de la cosecha, y 5) estimación de las necesidades hídricas del cultivo. La relación entre los cinco aspectos considerados en las ecuaciones antes nombradas busca que el productor conozca la capacidad de desarrollo de su plantación, identifique los problemas que afectan el cultivo y sobre todo que se corrijan oportuna y eficientemente.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar una aplicación web – móvil que permita mejorar la planificación y toma de decisiones de prácticas agronómicas en plantaciones de musáceas (plátano y banano) frente a la variabilidad climática, con especial referencia en la agricultura familiar de Colombia, Perú y República Dominicana.

Objetivos específicos

1. Diseñar un aplicativo basado en modelos matemáticos que convierte datos locales meteorológicos y abióticos para realizar algunas proyecciones de rendimiento del cultivo.
2. Desarrollar un estudio de prueba para el aplicativo en Colombia, República Dominicana y Perú.
3. Elaborar un plan de negocios que contribuya a asegurar la sostenibilidad del aplicativo y a alcanzar a la mayor cantidad de usuarios finales.
4. Gestionar el conocimiento y vinculación de la aplicación a pequeños productores y asistentes técnicos de las regiones productoras de banano y plátano en Colombia, Perú y República Dominicana.

METODOLOGÍA

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos se propusieron una serie de componentes, actividades y productos, para los cuales a continuación se detalla la metodología empleada para desarrollarlos.

COMPONENTE 1. DISEÑO DE UNA PLATAFORMA DE CÁLCULOS BASADA EN DATOS METEOROLÓGICOS Y ABIÓTICOS PARA REALIZAR PROYECCIONES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO.

Actividad 1.1. Formulación de la plataforma de cálculos y escenarios de uso

- **PRODUCTO 1.** Webinar del taller organizado de especialistas para formulación de la plataforma

Se realizó un taller técnico mediante una metodología participativa, involucrando equipos de las entidades ejecutoras y del Comité Asesor Voluntario Internacional - CAVI. El taller se desarrolló en 3 sesiones, la primera sesión se realizó el 20 de noviembre 2020, seguida de una sesión el 10 de diciembre 2020, donde se realizó la presentación y nivelación de conocimientos y una última sesión el 10 febrero 2021 donde el CAVI presentó la primera aproximación de los posibles indicadores para convertir datos de estaciones meteorológicas en parámetros de crecimiento de banana.

- **PRODUCTO 2.** Nota técnica sobre la plataforma de cálculos diseñada para generar indicadores de comportamiento de banano

Se diseñaron las ecuaciones matemáticas que integrarían la App °AHOra teniendo en cuenta el conocimiento científico previo y validado, que cuantifica la relación entre factores abióticos y el comportamiento de aspectos claves del cultivo de musáceas, lo cual fue complementado con el conocimiento científico de los investigadores de las entidades ejecutoras sobre crecimiento, desarrollo y rendimiento de los sistemas productivos de musáceas: AGROSAVIA, INIA e IDIAF, con la participación del comité asesor voluntario internacional (CAVI).

Actividad 1.2. Formulación de un plan de negocio.

- **PRODUCTO 3.** Monografía de la formulación del plan de negocio.



Mediante la aplicación del modelo CANVAS, se diseñaron algunas estrategias logísticas, de orden estructural, y se analizaron procesos y alcances de la aplicación °AHOra. El modelo de negocios CANVAS, describe la lógica de cómo una organización crea, entrega y captura valor, mediante el uso de un lienzo con nueve segmentos: 1) Segmento de clientes, 2) Propuesta de valor, 3) Canales, 4) Relaciones con clientes, 5) Fuente de ingresos, 6) Recursos Clave, 7) Actividades clave, 8) Asociaciones clave, y 9) Estructura de costos.

Actividad 1.3. Realizar el taller inaugural del proyecto (Virtual).

- **PRODUCTO 4.** Nota técnica conteniendo la línea base sobre producción, métodos de monitoreo de comportamiento del cultivo en los tres países y uso de aplicativos similares en el mercado.

Mediante la aplicación y análisis de un cuestionario, se determinaron las características de los actores y los métodos que estos emplean para monitorear el comportamiento del cultivo de banano y plátano en cada país. En seguida se describe cada una de las etapas del proceso empleado para la recolección de esta información.

Recolección de información. Colombia.

El sector bananero colombiano cuenta con diversos tipos de productores: pequeños productores (área sembrada hasta de 22 ha), medianos productores (área sembrada mayor a 22 ha y menor a 80 ha), y grandes productores (área mayor a 80 ha). Los productores de banano del país cuentan con distintas formas de organización, estando agrupados en gremios, comercializadoras, asociaciones o cooperativas, o productores independientes. En los departamentos del Magdalena y La Guajira en Colombia, zonas de influencia del proyecto °AHOra en Colombia, las áreas productivas de estos departamentos alcanzan 22.665 ha (MADR, DANE y Secretarías Municipales, 2019), hacen presencia principalmente dos gremios: AUGURA -Asociación de Bananeros de Colombia y ASBAMA -Asociación de Bananeros del Magdalena y La Guajira. Entre las compañías comercializadoras se encuentra Unibán, Banacol, C.I. Técbaco S.A., C.I. Banasan S.A., entre otras. En lo que respecta a las asociaciones se encuentran las cooperativas EMPREBANCOOP; COOBAMAG; COOMULBANANO; COOBAFRIO; ASOBANARCOOP, BANAFRUCOOP, y COODEBAN, etc.

Después de la identificación general de los actores en la cadena de valor de productores de musáceas de Magdalena y La Guajira, se planteó la delimitación de un marco muestral de actores mediante la aplicación de la fórmula estadística de estimación de muestras en conjuntos finitos descrita por Martínez (2018) (ecuación 1). La población o conjunto total de actores identificados por país. Para el caso de Colombia estuvo representada por 522 productores de banano y 187 productores de plátano, para un total de 709 productores.

La delimitación del marco muestral en la cadena de valor de musáceas para el estudio de Colombia, además de permitir la identificación de actores relevantes en la cadena, es un cálculo de apoyo para acotar el universo de actores que se priorizaron para la aplicación de herramientas de captura de información primaria, tales como encuestas y entrevistas, y la gestión de su participación en talleres y grupos focales (Van Der Heyden & Camacho, 2006).

Para la obtención de los datos necesarios para la clasificación de los agricultores de banano y plátano de los departamentos de Magdalena y La Guajira, se definió y aplicó una encuesta estructurada, la cual tuvo un total de 102 variables distribuidas en siete componentes: 1) información básica del encuestado (9 preguntas), 2) específica del miembro directivo (23 preguntas), 3) específico técnico (15 preguntas), 4) específico productor (14 preguntas), 5) registros del cultivo y uso de datos climáticos en las zonas seleccionadas (15 preguntas), 6) disponibilidad de TIC's por parte del encuestado en las zonas seleccionadas (15 preguntas) y 7) estrategias para la mejora continua y Benchmarking (11 preguntas) (**Anexo 1**). En total se encuestaron 68 personas (45 productores, 19 técnicos y 4 miembros directivos de asociaciones) que abarcan aproximadamente el 10% de la población focal (709 personas).

La aplicación de las encuestas se realizó bajo dos técnicas de recolección de información: grupal y personalizada.

La primera, se desarrolló con grupos de productores miembros de asociaciones; la segunda, se realizó directamente en predios con cada productor, y en ambas, el diligenciamiento estuvo bajo la dirección de personal Agrosavia, C.I. Caribia.

Perú:

Las zonas productoras de banano orgánico en la costa norte de Perú se encuentran ubicadas en la región de Tumbes, Piura, Lambayeque y la Libertad; siendo la región Piura la que tiene la mayor área de producción, con 9.293.00 hectáreas (DRAP, 2017).

En la costa norte, las zonas productoras de banano orgánico se encuentran ubicados en la región de Tumbes, Piura, Lambayeque y la Libertad; siendo la región Piura la que tiene 9.293,00 hectáreas (DRAP, 2017) siendo la mayor área de producción.

La exportación de banano en Perú está dirigida a cubrir los mercados de USA, Europa (Alemania, Holanda, Inglaterra, Bélgica) y Asia (Japón, Korea). Las áreas de producción promedio por productor en la región Piura es de 0,5 a 2 ha. En los últimos tres años, las nuevas áreas de expansión están registrando un área mayor a las 20 ha que en su mayoría corresponden a inversiones de empresas.

El 14% del PBI agrícola está representada por la actividad de exportación de banano orgánico en la región Piura, siendo uno de los cultivos que genera una alta rentabilidad. En el año 2020, el valor de las exportaciones de banano orgánico fue de US\$155,3 millones (FOB) aproximadamente, y la tendencia para los siguientes años es de crecimiento debido a una demanda mundial por la apertura de nuevos mercados orgánicos. No obstante, la producción de banano orgánico de la región tiene limitaciones tecnológicas que no permiten optimizar un mejor potencial productivo.

Si bien es cierto, en los últimos 10 años se ha tenido un crecimiento en los volúmenes de producción y exportación, estos se han visto sostenidos por el crecimiento en las áreas de cultivo de banano orgánico de exportación, ya sea por la siembra de nuevas áreas de cultivo o por la incorporación de áreas de producción convencional a la producción orgánica de exportación.

Sin embargo, los promedios de productividad por hectárea lejos de incrementarse, presentan una tendencia a la baja, como resultado de diversos factores relacionados con el manejo de la producción en campo, plagas emergentes (Thrips de la mancha roja, escamas, arañita roja), cambio climático (reducción de las temperaturas mínimas afectan el desarrollo vegetativo lo que ocasiona el “arrepollamiento”), deficiente manejo del agua para riego (estrés hídrico), nutrición ineficiente, deficiencias en los procesos de cosecha y post cosecha (incremento de la fruta descartada) y disponibilidad limitada de material de propagación de calidad genética y fitosanitaria, que si bien existe una oferta de plantas de meristemo, su alto precio no es accesible para el pequeño productor que sigue utilizando hijuelos con un alto riesgo de enfermedades y limitaciones genéticas en producción. Los productores de banano orgánico de la región Piura se caracterizan por presentar áreas entre 0,25 a 1,5 ha, los cuales están agrupados en organizaciones (asociaciones o cooperativas), siendo las principales organizaciones: AVACH, APBOSMAM, APPBOSA, COPAG entre otras, superando las 50 organizaciones (**Tabla 2**).

Tabla 2. Número de pequeños productores de banano orgánico en el Perú.

N°	Siglas	Provincia	Distrito	Región	N° de Socios	N° de Área (ha)
1	APBOSMAM	Sullana	Marcavelica	Piura	450	460
2	CAPPO	Sullana	Querecotillo	Piura	180	220
3	RIO Y VALLE	Sullana	Sullana	Piura	361	290

4	CAPEBOSAN	Sullana	Miguel Checa	Piura	382	325
5	ASPRAOSRA	Morropón	Buenos Aires	Piura	182	256
6	AVACH	Sullana	Querecotillo	Piura	350	280
7	COOPAG	Sullana	Ignacio Escudero	Piura	168	167
8	UBOIC	Sullana	Bellavista	Piura	137	125
9	CAPO AMPBAO	Sullana	Sullana	Piura	280	250
10	Coop. Señor de Chocan de San Vicente de Piedra	Sullana	Querecotillo	Piura	150	100
11	COOPABOH	Sullana	Sullana	Piura	145	95
12	APBOSA MALLARES	Sullana	Marcavelica	Piura	559	700
13	APOQ	Sullana	Querecotillo	Piura	620	410
14	Cooperativa de Usuarios Agro. San Lorenzo	Piura	Tambogrande	Piura	31	50
15	Otras organizaciones				5805	5772
TOTAL					9800	9500

Fuente: Elaboración propia.

Después de la identificación general de actores en la cadena de valor de productores de musáceas de Piura, se planteó la delimitación de un marco muestral de actores basados en el trabajo desarrollado por el Proyecto Fontagro titulado “Escalonamiento tecnológico en banano orgánico”. La aplicación de las encuestas se realizó a productores y técnicos, bajo la técnica de recolección de información personalizada desarrollada directamente en las parcelas de los encuestados y realizado por personal de la estación Experimental El Chira del INIA. A continuación, se detalla información relevante las encuestas aplicadas a cada grupo.

Productores: Se aplicó una encuesta estructurada que tuvo un total de **89 variables**, distribuidas en siete componentes que fueron: **1)** información básica del encuestado (9 preguntas), **2)** Área de producción (11 preguntas), **3)** Uso de celular e internet (22 preguntas), **4)** registro productivo y financiero de la finca (15 preguntas), **5)** estrategias para la mejora continua y Benchmarking (20 preguntas), **6)** registros y uso de datos climáticos en las zonas seleccionadas (12 preguntas). La encuesta la contestaron **50 productores**.

Técnicos: Se aplicó una encuesta estructurada que tuvo un total de **75 variables**, distribuidas en siete componentes que fueron: **1)** información básica del encuestado (11 preguntas), **2)** Uso de celular e internet (24 preguntas), **3)** registro productivo y financiero de la finca (16 preguntas), **4)** estrategias para la mejora continua y Benchmarking (14 preguntas), **5)** registros y uso de datos climáticos en las zonas seleccionadas (10 preguntas). La encuesta la contestaron **16 técnicos**.

República Dominicana:

La producción de plátano y banano es de gran importancia en la seguridad alimentaria, creación de empleo y en la generación de divisas de la República Dominicana. A la producción de banano se destinan 27.000 hectáreas con la participación de más de 2.200 productores, mientras que en la de plátano, se emplean unas 53.000 hectáreas con unos 50 mil productores, que generan miles de empleos directos e indirectos. A pesar de la importancia de ambos rubros, el presente diagnóstico solo se refiere al sistema productivo del cultivo de banano, por ser el interés principal en este proyecto en República Dominicana.

Con el fin de recopilar información para este estudio de línea base del proyecto, se identificaron dos principales actores a caracterizar: 1) productores familiares de banano orgánico, y 2) técnicos en contacto directo con los y las

productores en funciones de certificación, control de calidad y proceso, asistencia técnica y apoyo en insumos. Por cada grupo se definió y aplicó una encuesta estructurada, cuyas características se muestran a continuación:

Productores: Se aplicó una encuesta estructurada que tuvo un total de **89 variables**, distribuidas en siete componentes que fueron: **1)** información básica del encuestado (9 preguntas), **2)** Área de producción (11 preguntas), **3)** Uso de celular e internet (22 preguntas), **4)** registro productivo y financiero de la finca (15 preguntas), **5)** estrategias para la mejora continua y Benchmarking (20 preguntas), **6)** registros y uso de datos climáticos en las zonas seleccionadas (12 preguntas). La encuesta la contestaron **50 productores**. En la **Tabla 3**, se muestra la distribución de los productores encuestados según la asociación a la que pertenecen.

Tabla 3. Distribución de productores en la muestra según su Asociación

Asociación	%
ASEXBAM	10
ASOARAC	2
Banelino	69
La Santa Cruz	17
Top Fruit	2

Técnicos: Se aplicó una encuesta estructurada que tuvo un total de **75 variables**, distribuidas en siete componentes que fueron: **1)** información básica del encuestado (11 preguntas), **2)** Uso de celular e internet (24 preguntas), **3)** registro productivo y financiero de la finca (16 preguntas), **4)** estrategias para la mejora continua y Benchmarking (14 preguntas), **5)** registros y uso de datos climáticos en las zonas seleccionadas (10 preguntas). La encuesta la contestaron **12 técnicos**.

Análisis de la información recolectada

Después de recopilar la información, se realizó la tabulación, procesamiento, análisis e interpretación de resultados. La categorización y selección de variables se realizó para el total de las variables contempladas mediante un análisis exploratorio (distribución de frecuencias), de allí se escogieron aquellas que permitieran definir tipologías de productores de acuerdo con el nivel de adopción tecnológica. Posteriormente, se procedió con la caracterización de tipologías de productores de musáceas mediante un análisis de correspondencia múltiple (ACM) (Der y Everiff, 2001), a través del cual se identificaron las variables, dimensiones y categorías que describen al sistema productivo.

Finalmente, se realizó un análisis de conglomerados (Der y Everiff, 2001), el cual permitió agrupar los agricultores a partir de las variables con respuestas homogéneas, en tipologías de productores diferenciados. Estos análisis multivariados fueron desarrollados a través del software R.

Luego, se realizó el análisis de correspondencia múltiple con el software estadístico R, función MCA método de Burt para seleccionar las variables que más aportan al modelo. Finalmente, con las variables seleccionadas se realizó el dendograma a través de Hierarchical Clustering on Principal Components (HCPC) con el método de Ward y se realizó un análisis multivariado por componentes principales, el cual, se basa en el teorema de Huygens que permite descomponer la inercia total (varianza total) entre y dentro de la varianza del grupo. El método de Ward consiste en agregar dos grupos de manera que el crecimiento de la inercia sea mínimo (en otras palabras, minimiza

la reducción de la inercia intermedia) en cada paso del algoritmo. La inercia interna caracteriza lo homogéneo de un grupo y la jerarquía está representada por un dendrograma que está indexado por la ganancia de inercia (Huso *et al.* 2010).

Con el objetivo de identificar tendencias en investigación en el entorno mundial relacionadas con aplicativos (modelos, software) para la predicción de rendimiento en cultivos empleando datos meteorológicos, se realizó un estudio de vigilancia científica, cómo herramienta para la gestión de información.

La base de referencia a partir de la cual se generó el análisis fue la base de datos Scopus. Para la descarga de registros se utilizó una ecuación de búsqueda que comprendió palabras clave relacionadas con los temas de predicción de rendimiento, factores agrometeorológicos y aplicaciones o software. Para esta búsqueda sólo se tuvo en cuenta publicaciones que pertenecen a la categoría de artículos científicos, con lo que se analiza su dinámica y actividad para el periodo desde 2016 hasta junio de 2021.

La ecuación de búsqueda, empleada en primera instancia fue la siguiente:

```
( TITLE ( ( model* OR calcul* OR estimat* OR app OR software OR android OR ios OR simulation ) AND ( water OR irrigation OR nutrient OR fertiliz* OR evaporation OR humidity OR temperature OR rainfall OR agrometeorolog* OR meteorolog* OR soil OR Agroclimatology) AND ( "yield forecasting" OR "yield prediction" OR "yield estimation" OR "yield simulation" OR "Crop simulation model", OR "crop management", OR "crop harvest") AND (musa*, banana, Plantain )) OR ABS ( ( model* OR calcul* OR estimat* OR app OR software OR android OR ios ) AND ( water OR irrigation OR nutrient OR fertiliz* OR evaporation OR humidity OR temperature OR rainfall OR agrometeorolog* OR meteorolog* OR soil ) AND ( "yield forecasting" OR "yield prediction" OR "yield estimation" OR "yield simulation" ) ) ) AND PUBYEAR > 2015 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) )
```

No obstante, debido al bajo número de registros encontrados (6 artículos), lo cuales fueron específicos para el cultivo de banano, se decidió ampliar la búsqueda e integrar información de modelos empleados en otros cultivos pero que podían ser aplicables o servir de referencia para el cultivo de banano. De esta manera la ecuación quedo conformada de la siguiente forma:

```
( TITLE ( ( model* OR calcul* OR estimat* OR app OR software OR android OR ios ) AND ( water OR irrigation OR nutrient OR fertiliz* OR evaporation OR humidity OR temperature OR rainfall OR agrometeorolog* OR meteorolog* OR soil ) AND ( "yield forecasting" OR "yield prediction" OR "yield estimation" OR "yield simulation" ) ) ) OR ABS ( ( model* OR calcul* OR estimat* OR app OR software OR android OR ios ) AND ( water OR irrigation OR nutrient OR fertiliz* OR evaporation OR humidity OR temperature OR rainfall OR agrometeorolog* OR meteorolog* OR soil ) AND ( "yield forecasting" OR "yield prediction" OR "yield estimation" OR "yield simulation" ) ) ) AND PUBYEAR > 2015 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) )
```

Los registros vinculados a la ecuación fueron recuperados para conformar la base de datos o corpus a analizar, el cual para el presente caso comprendió 711 registros más los 6 registros iniciales, es decir 717. A partir de este corpus se realizó una revisión del título y resumen de cada uno de los artículos, con el fin de clasificarlos en muy pertinentes, pertinentes, posiblemente pertinentes y descartados, teniendo en cuenta los siguientes criterios: 1. uso de datos meteorológicos; 2. predicción de rendimiento o de crecimiento; 3. documento soporte de una aplicación. De esta manera se preseleccionaron 200 registros (clasificados en muy pertinentes y pertinentes).

Análisis cuantitativo: A los registros preseleccionados se les realizó un análisis cuantitativo que incluyó: i) indicadores de actividad y cuantitativos del objeto de estudio, ii) indicadores de coocurrencia, y iii) mapa temático de tendencias. Para la elaboración de mapa temático de tendencias se utilizó como herramienta el



software libre con interfaz web Bibliometrix®, el cual permitió generar indicadores cuantitativos y la identificación de tendencias representadas en un mapa con tópicos relevantes.

Aplicativos o modelos similares en el mercado: Con el fin de obtener información más detallada de los aplicativos o modelos que reportan los artículos preseleccionados, se procedió a conseguir la versión completa de los artículos. De esta manera se encontró que: 1) No estaba disponible la versión completa de 28 artículos y 2) en 14 artículos no se nombraba una aplicación o modelo en particular, por lo que se descartaron. Finalmente se emplearon 158 artículos para realizar el análisis de los aplicativos o modelos

- **PRODUCTO 5.** Webinar del taller de arranque del proyecto.

El 18 de febrero de 2021 se realizó virtualmente, a través de la plataforma Cisco Webex, el taller de arranque del proyecto, donde se dio a conocer las actividades a realizar, la inversión, e impacto del proyecto con el fin de vincular actores claves y los principales beneficiarios (Productores Agropecuarios, Asistentes y/o Extensionistas agropecuarios, Gremios, Comunidad Académica y demás actores interesados de Colombia, Perú, República Dominicana).

Actividad 1.4. Estudio para el diseño de la versión inicial de la aplicación

- **PRODUCTO 6.** Monografía de diseño técnico de la aplicación.

Se realiza una descripción de los algoritmos empleados para la construcción de la aplicación °AHOra. El objetivo de este documento es ilustrar e informar a las personas encargadas de mantener la prestación del servicio de la aplicación °AHOra y en general al público interesado, acerca de los aspectos técnicos involucrados en el desarrollo de la aplicación, es decir, la estructura y conformación del sistema, con el fin de asegurar la transferencia de conocimiento y servir de soporte o insumo para realizar modificaciones o actualizaciones al sistema en general.

COMPONENTE 2. DESARROLLAR UN ESTUDIO PARA LA VERSIÓN DEMO, CON FUNCIONALIDADES GENERALES.

Actividad 2.2. Desarrollo de un estudio para la versión Demo de la aplicación

- **PRODUCTO 7.** Manual operativo de la aplicación en su versión Demo.

Se diseñó una guía básica de uso de la App °AHOra versión Demo 1.0. Este manual brinda al usuario final la información necesaria para facilitar la navegación en el aplicativo por las funciones que ofrece.

Actividad 2.3. Estudio de prueba de la aplicación Demo en campos de productores.

- **PRODUCTO 8.** Talleres de capacitación realizados para mostrar el manejo de la aplicación a los productores en las zonas de prueba.

Se realizaron 13 talleres con los productores y técnicos presenciales (seis en Colombia, tres en República Dominicana y cuatro en Perú), en donde se socializó la aplicación °AHOra en su versión Demo y se brindó información acerca de la importancia y forma de navegación en el aplicativo, por las cinco (5) funciones que ofrece: 1) tasa potencial de emisión de hojas, 2) tiempo promedio de floración a cosecha, 3) peso potencial del racimo, 4) estimación de los nutrientes que deben ser restituidos al suelo luego de la cosecha, y 5) estimación de las necesidades hídricas del cultivo. Durante estos talleres se recogió información valiosa acerca de la percepción por



parte de los asistentes en cuanto a la utilidad de la aplicación, facilidad de navegación, sugerencias de mejoras o modificaciones, e interés en usarla. Esta información será tenida en cuenta posteriormente en la versión final del aplicativo °AHOra.

- **PRODUCTO 9.** Encuestas realizadas sobre la modalidad en que productores y técnicos integran la versión Demo en el análisis del manejo de sus campos de banano.

Con el fin de determinar cómo los productores y técnicos de las zonas de influencia en cada uno de los tres países participantes del proyecto, integran la versión demo del aplicativo °AHOra en el manejo de sus cultivos y conocer cuál es su percepción sobre la utilidad de este, se llevó a cabo un ejercicio que constó de tres fases:

Fase 1: Selección de productores y técnicos

Entre julio del 2021 y febrero de 2022, se realizaron 13 talleres presenciales (seis en Colombia, tres en República Dominicana y cuatro en Perú), con el fin de presentar la versión Demo 1.0 del aplicativo a productores, técnicos y directivos interesados, los cuales pertenecen a diferentes asociaciones o cooperativas de banano y plátano presentes en las zonas de influencia del proyecto °AHOra (los departamentos del Magdalena y La Guajira en Colombia, Valle Occidental en la Línea Noroeste de República Dominicana y el Departamento de Piura en Perú). En estos encuentros se socializó con 334 personas (136 en Colombia, 124 en República Dominicana y 74 en Perú) la aplicación °AHOra en su versión Demo 1.0.

Específicamente, se dieron a conocer las funciones que presta el aplicativo, la importancia de la información reportada, y la forma de navegación por la App. Mediante una metodología de discusión participativa y aplicación de una encuesta estructurada al finalizar cada taller, se conoció la percepción por parte de los asistentes acerca de la utilidad de la aplicación, facilidad de navegación, sugerencias de mejoras o modificaciones, e interés en usar la App. Entre los comentarios realizados se encontraron: usar un lenguaje menos técnico, más puntual y sencillo; ajustar el tamaño de letra y colores; agregar elementos menores a los resultados de la ecuación que estima los nutrientes que deben ser restituidos al suelo luego de la cosecha; presentar en términos de semanas calendario los resultados del tiempo promedio de floración y cosecha; entre otros comentarios. Las sugerencias realizadas en estos talleres permitieron mejorar la App y obtener la versión Demo 2.0. Para mayor detalle de los encuentros realizados con los productores y técnicos, se puede consultar el producto 8 “Talleres de capacitación realizados para mostrar el manejo de la aplicación a los productores en las zonas de prueba”, disponible en la página de Fontagro.

Una vez finalizada la actividad de socialización de la versión Demo 1.0, se seleccionaron algunos de los productores y técnicos que participaron en estos talleres para que hicieran uso de la versión Demo 2.0 en campo. Los criterios de selección fueron: 1) Cercanía a alguna de las estaciones que están enlazadas al aplicativo, 2) Contar con internet y Smartphone, e 3) interés por parte del usuario en participar del ejercicio.

Fase 2: Uso del aplicativo

En **República Dominicana** se organizaron cinco grupos, conformados por: Tres a cuatro productores, un investigador y un técnico de la asociación a la que pertenecen. En total participaron 32 personas (22 productores, cinco técnicos y cinco investigadores). Cada grupo estaba ubicado cerca de una estación meteorológica: 1) **Amina Banelino**- Provincia Valverde, 2) **Hatillo Palma- MonteCristi**, 3) **Juliana Jaramillo- MonteCristi**, 4) San Isidro Banelino- en la laguna salada de la Provincia Valverde, y 5) **La Caída Banelino- Montecristi**.

Con cada grupo se realizaron cinco encuentros. En la primera reunión se explicó la metodología de toma de datos de la tasa de emisión de hojas (función uno de la App). Enseguida se programó una reunión 15 días después, en la cual los productores y técnicos presentaron los datos colectados sobre la tasa de emisión de hojas y se comparó



con lo que reportaba el aplicativo. Al finalizar el segundo encuentro, se explicó la segunda función de la App (periodo de floración a cosecha), y se programó una tercera reunión 15 días después para mirar los datos colectados. De esta manera, se continuó realizando un encuentro cada 15 días, hasta revisar y analizar una a una, las cinco funciones que brinda la App. En cada reunión se observaron los datos colectados, se compararon con la App, se analizó el efecto del clima u otro factor que pudiera afectar lo que reportaba el aplicativo vs la realidad y se asignaba una tarea relacionada a una de las ecuaciones para el siguiente encuentro. Durante el tiempo que se dejaba para tomar datos de una de las ecuaciones, se realizaban visitas de seguimiento a algunos de los productores.

En el caso de **Perú** se llevó a cabo una reunión con 20 productores seleccionados, los cuales se encontraban cerca de la estación ubicada en la asociación ASPROBO, para hacer uso del aplicativo durante dos meses. En esta reunión se mostró el uso del aplicativo y el fundamento de las ecuaciones. Semanalmente, se realizó una visita a algunos de los productores, con el fin de revisar el funcionamiento del aplicativo y se comparó con los datos de campo tomados. Al finalizar la visita, se realizó una discusión donde los productores compartían sus percepciones frente al aplicativo, su funcionalidad y se evaluó la exactitud de los datos reportados por la App frente a los datos reales obtenidos en campo, con el fin de mejorar la App.

Para **Colombia**, se seleccionaron 18 técnicos y siete productores, para que hicieran uso del aplicativo durante dos meses. Inicialmente se hizo una visita a cada uno de los 25 participantes, los cuales se encontraban cerca de la estación meteorológica ubicada en el municipio de Sevilla. Se les explicó a los participantes la forma de usar el aplicativo y se les compartió un video tutorial ([Tutorial App °AHoRa - YouTube](#)), para que tuvieran una fuente de consulta rápida en caso de requerirlo. Semanalmente, se hizo una visita a algunos participantes con el fin de corroborar el uso del aplicativo y resolver las posibles dudas que se hubieran presentado.

Fase 3. Aplicación y análisis de la encuesta

Al finalizar el uso del aplicativo en el tiempo estipulado, con las personas seleccionadas en cada una de las zonas de prueba en los tres países, se aplicó una encuesta tipo Likert de cuatro puntos, siendo 4 “el nivel más alto” y 1 “el nivel más bajo”.

La encuesta contó con 32 preguntas, distribuidas por cada una de las funciones que ofrece el aplicativo, así:

- **FUNCIÓN 1:** Tasa potencial de emisión de hojas (3 preguntas)
 - **FUNCIÓN 2.1:** Semanas de floración a cosecha- fecha aproximada en que ocurrió la floración (5 preguntas)
 - **FUNCIÓN 2.2:** Semanas de floración a cosecha- fecha aproximada en que se debe cosechar (5 preguntas)
 - **FUNCIÓN 3.1:** Peso potencial de racimo- con el fin de verificar el peso alcanzado (4 preguntas)
 - **FUNCIÓN 3.2:** Peso potencial de racimo-con el fin de proyectar la productividad del cultivo (4 preguntas)- solamente para el caso de la versión de la App en Perú y Colombia.
- **FUNCIÓN 4:** Demanda de nutrientes (3 preguntas)
- **FUNCIÓN 5:** Demanda de agua y riego (3 preguntas)
- **PREGUNTAS GENERALES** (5 preguntas).

- **PRODUCTO 10.** Base de datos de validación de cálculos, enfocada en indicadores de productividad del banano.

En las regiones productoras de banano y plátano en Colombia, y de banano orgánico en Perú y la República



Dominicana se llevó a cabo un proceso de validación de la aplicación °AHOra. Para el proceso de validación en la República Dominicana, se organizaron cinco grupos de cuatro productores en las cercanías de cinco estaciones meteorológicas. En el caso de Perú y Colombia, se seleccionaron parcelas experimentales en cada una de las regiones productoras. En los tres países se registraron datos *in situ* sobre emisión foliar, duración en semanas de floración a cosecha, peso de racimo, nutrientes y frecuencia de riego. Paralelamente a la caracterización de los indicadores de cultivo propuestos, mediante el uso de la aplicación °AHOra se estimó, para las mismas fechas de evaluación en campo: la tasa potencial de emisión de hojas y fecha óptima de cosecha en función de la acumulación de grados día, peso potencial de racimo en función de la radiación solar incidente, cantidades de nutrientes a reponer en función de la extracción de nutrientes y la productividad, y requerimientos hídricos a partir del balance hídrico.

Actividad 2.4. Estudio para el desarrollo de mejoras de la aplicación Demo y del plan de negocio.

- **PRODUCTO 11.** Manual operativo actualizado de la aplicación en su versión Demo

Se diseñó una guía básica de uso de la App °AHOra versión Domo 2.0. Este manual brinda al usuario final la información necesaria para facilitar la navegación en el aplicativo por las cinco funciones que ofrece.

- **PRODUCTO 12.** Monografía conteniendo la actualización del plan de negocio para la aplicación

Se actualizó el modelo de negocios CANVAS y se desarrolló del plan de negocios, el cual es un estudio con mayor profundidad que complementa el modelo de negocios CANVAS, y que implica profundizar en los siguientes aspectos: 1. Plan estratégico, 2. Plan de mercado y marketing, 3. Plan operativo, 4. Plan de gestión y de recursos humanos, y 5. Plan económico – financiero. En este documento se desarrollaron dos de los primeros aspectos que considera el plan de negocios, es decir el Plan estratégico y Plan de mercado y marketing.

- **PRODUCTO 13.** Webinar sobre modificación de la plataforma de cálculos y la aplicación versión Demo, basado en datos de validación

Se realizó un taller mediante metodología participativa, involucrando equipos de las entidades ejecutoras y del Comité Asesor Voluntario Internacional - CAVI. Con el fin de optimizar recursos financieros se organizó la participación virtual de especialistas que se encuentran en diferentes países. El Seminario - taller constó de tres sesiones: Una sesión virtual el 5 de agosto y dos sesiones presenciales el 22 y 23 de agosto de 2022. En cada sesión se presentaron, analizaron y discutieron los datos tomados en campo y se compararon con la información arrojada por la App, todo ello con el objetivo de determinar si es necesario realizar algún ajuste en la plataforma de cálculos.

COMPONENTE 3. PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO DEL APLICATIVO.

Actividad 3.1. Estudio para el desarrollo de la aplicación en su versión Pro

- **PRODUCTO 14.** Manual operativo de la aplicación en su versión Pro.

Se diseñó una guía básica de uso de la App °AHOra versión Domo Pro. Este manual brinda al usuario final la información necesaria para facilitar la navegación en el aplicativo por las cinco (5) funciones que ofrece. Debido a las condiciones particulares de los sistemas productivos, por cada uno de los países participantes del proyecto, se generó una versión de la App, la cual está ajustada a las características propias de cada zona, como la disponibilidad y acceso al agua, el manejo de la fertilización, entre otras, permitiendo así generar estimaciones apropiadas.

Actividad 3.2. Presentación oficial de en cada país.

- **PRODUCTO 15.** Taller organizado de lanzamiento del aplicativo en cada país.



Se realizaron una serie de eventos con productores y técnicos de las zonas de estudio en Colombia, Perú y República Dominicana, en donde se socializó la aplicación °AHOra y se brindó información acerca de la importancia y forma de navegación en el aplicativo por las cinco funciones que ofrece:

1) tasa potencial de emisión de hojas, 2) tiempo promedio de floración a cosecha, 3) peso potencial del racimo, 4) estimación de los nutrientes que deben ser restituidos al suelo luego de la cosecha, y 5) estimación de las necesidades hídricas del cultivo.

Actividad 3.3. Estudio de monitoreo de la experiencia de los usuarios con la aplicación

- **PRODUCTO 16.** Base de datos de la experiencia de usuarios de la aplicación de acuerdo con las pruebas de la versión Demo y Pro.

Con el fin de asegurar que los productores adapten y adopten la aplicación °AHOra versión pro, se llevó a cabo un periodo de uso de la App por parte de un grupo de productores y técnicos seleccionados en cada país. Al final de este periodo, se aplicó una encuesta estructurada tipo Likert y se realizó un análisis básico descriptivo.

- **PRODUCTO 17.** Monografía de la versión final del plan de negocios.

Se expone la versión final del modelo CANVAS y del plan de negocios con los cinco aspectos tratados (1. Plan estratégico, 2. Plan de mercado y marketing, 3. Plan operativo, 4. Plan de gestión y de recursos humanos, y 5. Plan económico – financiero). Con los planteamientos realizados en el documento, se espera minimizar los riesgos y disminuir la incertidumbre del futuro de la App en Colombia, Perú y República Dominicana.

RESULTADOS

A continuación, se reportan los resultados más relevantes obtenidos durante el desarrollo del proyecto °AHOra, vale la pena resaltar, que, debido al alto número de productos comprometidos, la información presentada es lo más sucinta posible y está organizada por los tres componentes, las principales actividades y los productos.

COMPONENTE 1. DISEÑO DE UNA PLATAFORMA DE CÁLCULOS BASADA EN DATOS METEOROLÓGICOS Y ABIÓTICOS PARA REALIZAR PROYECCIONES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO.

Actividad 1.1. Formulación de la plataforma de cálculos y escenarios de uso

- **PRODUCTO 1.** Webinar del taller organizado de especialistas para formulación de la plataforma

El taller permitió definir que las variables de entrada para el aplicativo °AHOra sería: temperatura, precipitación, radiación solar y humedad relativa. Las variables de respuesta o salida serían: tasa potencial de emisión de hojas, tasa potencial desarrollo racimo, peso potencial racimo, evapotranspiración y demanda potenciales de nutrientes en función de biomasa.

- **PRODUCTO 2.** Nota técnica sobre la plataforma de cálculos diseñada para generar indicadores de comportamiento de banano

Se diseñó una plataforma de cálculos que se basa en modelos matemáticos que toman datos de las estaciones meteorológicas para predecir y/o estimar indicadores de productividad y sostenibilidad. Se presentan los cinco indicadores propuestos por la App, los datos meteorológicos y conocimiento científico previo necesario para realizar el cálculo, y la importancia del indicador.

Tasa de emisión de hojas ´

Duración del período entre floración y cosecha

Peso potencial de racimo

Demanda de nutrientes del cultivo

Actividad 1.2. Formulación de un plan de negocio.

- **PRODUCTO 3.** Monografía de la formulación del plan de negocio.

Se realizó un análisis por cada uno de los componentes del modelo CANVAS, teniendo en cuenta las particularidades de las zonas productoras de banano y plátano de Colombia, Perú y República Dominicana.

Segmentos de mercado o clientes.

- Pequeños productores de banano familiares independientes.
- Pequeños productores de banano organizados en asociaciones, cooperativas, centrales de productores.
- Comercializadoras
- Fondos y Empresas privadas.
- Pequeños productores de plátano.

Propuesta de valor.

- Aplicativo novedoso y versátil que, con base en una plataforma de cálculos, permite usar en forma eficiente datos meteorológicos para proyectar respuestas del crecimiento y desarrollo del cultivo de banano.
- Primera aplicación en su tipo para uso de pequeños productores de banano de Colombia, Perú y República Dominicana.
- Aplicativo de acceso libre que podrá ser utilizado tanto en dispositivos móviles inteligentes, como en

computadores (página web).

Canal de distribución.

- A través de los talleres y eventos programados durante el desarrollo del proyecto, se da a conocer el aplicativo a la mayor cantidad de usuarios potenciales.
- Una vez finalice el proyecto, la enseñanza y difusión del aplicativo se realizará por parte de las asociaciones y técnicos de cada país, además del “voz a voz” de los productores que ya son usuarios.
- El cliente podrá acceder a la información en tiempo real desde una computadora fija o desde un dispositivo móvil inteligente (celulares, computadoras portátiles).
- Se podrá acceder al aplicativo desde los sitios web de Fontagro y de las instituciones participantes del proyecto en cada país (Agrosavia, INIA Perú, IDIAF). El aplicativo también se encontrará para descargar en Play Store (desarrollada por Google para Android) y App Store (desarrollada por Apple para iPhone y iPad).

Relación con el cliente.

Durante el desarrollo del proyecto se socializa el aplicativo con productores, técnicos y asociaciones, a través de talleres y eventos programados por subzona. Se les informa acerca del uso y utilidad, y se analiza la funcionalidad y veracidad de los datos, identificando así potenciales modificaciones. Se realizan encuestas con el fin de evaluar la forma en que integran el aplicativo en el análisis del manejo de sus campos de banano.

Una vez finalizada la etapa de desarrollo del aplicativo con el proyecto, la relación con el cliente será:

- Autoservicio: no se mantiene una relación directa con los clientes, sino que se limita a proporcionar todos los medios necesarios para que los clientes puedan servirse ellos mismos. Para ello se contará con un manual para el usuario, infografías y videos para informar e ilustrar el paso a paso de cómo funciona el aplicativo.
- Comunidades: Se espera que se creen comunidades de usuarios en línea, lo cual permitirá intercambiar conocimiento y solucionar posibles pequeños inconvenientes que cada uno de ellos encuentre.
- Creación Colectiva: Con el fin de mejorar constantemente el aplicativo, se invita a los clientes a expresar sus opiniones y sugerencias sobre el valor de la información proporcionada y el esfuerzo requerido para generar datos de sus parcelas, entre otras opiniones de los usuarios. Para ello habrá un espacio de comentarios en el aplicativo móvil.

Fuentes de ingreso.

- Contrapartida instituciones el sistema: Aporte en dinero o especie para operación del aplicativo y mantenimiento de las estaciones meteorológicas, por parte de asociaciones de bananeros o gobiernos regionales en cada país, los cuales se verán beneficiados por el uso de la aplicación por parte de los productores.
- Aporte de entidades desarrolladoras del proyecto: Agrosavia, INIA, IDIAF y UDEP pondrán recursos y capacidades a disposición del sostenimiento del aplicativo, por ejemplo, porcentaje de dedicación de un experto para realizar ajustes de forma y fondo del aplicativo (actualizaciones anuales), uso de instalaciones o equipos para el funcionamiento (Servidor o estaciones meteorológicas), entre otros.

Recursos clave

- Recursos físicos: servicios web (alojamiento en una plataforma de computación en la nube y dominio), b) Computadores, programas, internet, etc.
- Recursos intelectuales: a) Información meteorológica en tiempo real, b) registro de los datos reportados por la aplicación y los reales en campo, estos últimos son tomados por los usuarios y registrados en la aplicación al momento usarla (con el fin de corroborar en buen funcionamiento y posibles modificaciones), c) uso y permisos de compartir, d) articulación de actores.
- Recursos humanos: a) Personal de mantenimiento de la plataforma (encargado de corroborar la carga automática de los datos climáticos e inputs requeridos, y garantizar el buen funcionamiento de la plataforma



de cálculos), b) Administrador del sitio web del aplicativo, c) Investigadores que evalúen y actualicen la App para su sostenibilidad a largo plazo- Al menos una vez al año, d) Flujo de la información.

- Recursos económicos: Dinero para a) pago de personal encargado del mantenimiento de la aplicación.

Actividades clave

- Operación: búsqueda para ampliar el uso o cobertura de la App a otras regiones.
- Innovación: Según nuevos descubrimientos académicos y comentarios de los usuarios, integrar nuevas funciones.
- Promoción: nuevas estrategias o formas de llegar a más usuarios.
- Actualización: remodelación de la plataforma para que esta sea cada vez más fácil de usar, comprensible, útil, agradable y personalizada para los usuarios.
- Mantenimiento: revisión periódica de la plataforma para que no presente fallas.
- Financiamiento: planeación de formas de conseguir y administrar recursos para el buen funcionamiento de la aplicación: a) Coordinar con instituciones aliadas (gobiernos regionales, Universidades, etc.); b) Talleres de coordinación con asociaciones de productores.
- Análisis de riegos: garantizar seguridad y solución de problemas que presenten los usuarios, de manera rápida y eficaz.

Socios clave.

- Equipo líder del proyecto: IDIAF, INIA, UDEP, AGROSAVIA, FONTAGRO.
- Asociaciones, cooperativas y/o centrales de productores de banano orgánico y convencional.
- Empresas exportadoras e importadoras.
- Academia (universidades e institutos).
- Gobiernos regionales.
- ONGs
- Clúster de banano orgánico

Estructura de costos.

•Dominio (20,5 USD/año); •Hosting/ servidor (840 USD/año); •Plataforma de aplicaciones móviles (124 USD/año); •Mantenimiento, administración u operatividad de la aplicación (2795 USD/año); •Actualización del modelo y del aplicativo (1500 USD/año); •Mantenimiento de las estaciones (los propietarios de las estaciones cubren estos gastos); •Plan de datos para estaciones (1812,4 USD/año); •SEO-Search Engine Optimization - Optimización para motores de búsqueda (1440 USD/año).

Actividad 1.3. Realización del taller inaugural del proyecto (Virtual).

PRODUCTO 4. Nota técnica conteniendo la línea base sobre producción, métodos de monitoreo de comportamiento del cultivo en los tres países y uso de aplicativos similares en el mercado.

Colombia

Con la información obtenida de las encuestas, se depuraron los datos y se conformó una matriz con 51 variables cualitativas, de las cuales, a través del análisis de correspondencia múltiple, se realizó la selección de 31 variables teniendo en cuenta su poder discriminante para lograr la caracterización y tipificación, ya que representaban 60 % de la expresión de la variabilidad del total de las variables estudiadas lo cual es adecuado de acuerdo con Pla (1986) y Lezzoni y Pritts (1991), quienes señalaron que valores superiores al 40% suelen ser suficiente para realizar análisis adecuados.

En cuanto a las encuestas realizadas a los técnicos, a través del análisis de correspondencia múltiple, se seleccionaron 34 variables dado que su coeficiente de correlación fue superior a 0,6 lo que indica que son las que más aportan a las varianzas. Esas variables fueron: ¿Área en la cual trabaja?, ¿Cuántos años tiene asistiendo a la producción de banano o plátano de cualquier tipo?, Tipo de celular, ¿Dónde acostumbra a conectarse a wifi



gratuito?, Tipo de conexión a internet que tiene en su casa, ¿Para qué ocupa la computadora e internet en la casa?, En su zona de trabajo cómo caracteriza la señal, ¿Con qué frecuencia usa el internet para conseguir información sobre banano?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los racimos encintados?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de los racimos encintados?, ¿Resume o analiza datos acerca de los racimos encintados como su responsabilidad?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los racimos cosechados?, ¿Resume o analiza datos acerca de los racimos cosechados como su responsabilidad?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca del número de cajas a la semana?, ¿Resume o analiza datos acerca del número de cajas a la semana como su responsabilidad? ¿Recibe datos ya colectados acerca del ratio racimo/caja?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca del ratio racimo/caja?, ¿Resume o analiza datos acerca del ratio racimo/caja como su responsabilidad?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de registros de certificaciones?,

¿Resume o analiza datos acerca de registros de certificaciones?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los fertilizantes aplicados?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de los fertilizantes aplicados?, ¿Resume o analiza datos acerca de los fertilizantes aplicados como su responsabilidad?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los repelentes, pesticidas usados?,

¿Toma o registra datos acerca de pérdidas TMR?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de pérdidas TMR?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de pérdidas por otras causas?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de pérdidas por otras causas?, ¿Toma o registra datos acerca de sigatoka?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de sigatoka?, ¿Resume o analiza datos acerca de sigatoka?, ¿Dificultades para la toma de información?, ¿dificultades para medir indicadores de mejora continua y Benchmarking?, ¿Cómo identificó esos temas?, y Donde consulta para estar informado de los pronósticos de condiciones de tiempo o meteorológicas para los próximos días?.

A partir de la selección de las variables y el análisis de HCPC, se formaron cuatro grupos de productores de musáceas en el departamento del Magdalena y La Guajira, con base a la población muestreada.

Con estos resultados, se realizó el análisis de conglomerados (Der y Everitt, 2001) que minimiza las varianzas entre los grupos y maximiza las varianzas dentro de cada grupo. Mediante la aplicación de este análisis se pudo determinar cuatro grupos o tipologías de productores de musáceas en el departamento de Magdalena y La Guajira, con base a la población muestreada.

Grupo 1: Comprende el 50% de la población encuestada. Este grupo se caracteriza porque son productores que cultivan en su mayoría banano de la variedad Valery, con una densidad de siembra de 1600 plantas por hectárea. Son propietarios de las parcelas y en las labores del cultivo están involucrados familiares, como hijos. No cuentan con certificaciones y tampoco consultan información climática para tomar decisiones del manejo del cultivo de banano. No obstante, en su propia finca toman datos de precipitación (mm) con ayuda de un pluviómetro. El tipo de suelo predominante de los predios es Franco (Arc Frc, Frc, L Frc, Frc L), las necesidades hídricas del cultivo las estiman por conocimiento empírico y utilizan riego por aspersión.

El productor toma en campo y cuenta con registros en papel, de más de 6 años, de datos del cultivo como racimos encintados, calibre de los dedos del racimo, peso del racimo, número de manos por racimo, ratio (racimos/semana), número de cajas producidas por ha/año. Con esta información no se realiza ningún tipo de análisis, simplemente se registran los datos como información.

Los productores de este grupo no tienen computadora y tampoco conexión a internet en su casa u oficina, pero cuentan con un SmartPhone, desde el cual tienen conexión a internet y consultan información técnica para el manejo del cultivo de banano, especialmente en temas de manejo de plagas y enfermedades (aunque no es muy frecuente la realización de estas consultas). Las principales aplicaciones y/o programas que usan son el correo y



WhatsApp. Aseguran que en el último año no han recibido capacitaciones sobre el manejo y/o uso de aplicaciones móviles para generar recomendaciones del cultivo de banano.

Estos productores consideran que es peor el riesgo en el negocio de producir banano de exportación hoy comparado con años atrás. Opinan que conocer y utilizar datos de clima y producción en su cultivo de plátano y banano puede ayudar a mejorar la productividad, rentabilidad y reducir riesgo en su plantación.

Grupo 2: Agrupa el 15% de los encuestados. Este grupo se caracteriza porque son productores de plátano Hartón, dueños de la finca donde cultivan. En las labores del cultivo emplean mano de obra familiar y la densidad de siembra promedio que manejan es de 1.111 plantas por hectárea. Se encuentran en proceso de certificación.

Estos productores no consultan ni toman datos climáticos para decidir sobre el manejo del cultivo. Tampoco toman y registran información del cultivo. El tipo de suelo predominante en las fincas es Franco (Arc Frc, Frc, L Frc, Frc L). Emplean sistemas de riego por gravedad (inundación), teniendo en cuenta el conocimiento empírico como criterio para estimar las necesidades hídricas del cultivo.

En cuanto a la disponibilidad de TIC's por parte del encuestado, estos productores cuentan con un celular sencillo (solo llamadas y textos), no tienen computador y no poseen conexión a internet, por lo que no consultan información técnica del cultivo en internet y no hacen uso de aplicaciones y/o programas como apoyo para el manejo del cultivo de plátano.

Estos productores consideran que es peor el riesgo en el negocio de producir hoy comparado con años atrás y que poder conocer y utilizar datos de clima y producción en su cultivo de plátano puede ayudar a mejorar la productividad, rentabilidad y reducir riesgo en su plantación.

Grupo 3: Representa el 29% de los encuestados. Este grupo se caracteriza porque son técnicos que visitan cultivos de banano en las zonas de influencia del proyecto. En los cultivos que asesoran toman y registran datos como: racimos encintados, calibre de los dedos del racimo, peso del racimo, número de manos por racimo, ratio (racimos/semana), y número de cajas producidas por ha/año; estos datos los registran en papel y luego los archivan digitalmente, teniendo disponibles datos de 3-6 años. Con esta información los técnicos realizan análisis para la toma de decisiones (prácticas culturales, aplicación de fertilizantes, plaguicidas, insecticidas, etc.). Igualmente, estos técnicos acostumbran a consultar estaciones meteorológicas propias para tomar decisiones de manejo de los cultivos. En cuanto a las recomendaciones sobre las necesidades hídricas del cultivo, realizan balances hídricos. Cuentan con celular tipo SmartPhone y computador, desde los cuales poseen conexión a internet y consultan diariamente información técnica para el manejo del cultivo, siendo el principal tema de interés el control de las plagas y enfermedades. Entre las aplicaciones más usadas para conseguir este tipo de información se encuentra correo, whatsapp, buscadores y YouTube. La organización para la cual trabajan les ha realizado capacitaciones sobre el manejo y/o uso de aplicaciones móviles para generar recomendaciones del cultivo de banano.

Al igual que los productores, los técnicos consideran que hoy día, comparado con años anteriores, es peor el riesgo en el negocio de producir, y que poder conocer y utilizar datos de clima y producción en su cultivo de plátano y banano puede ayudar a mejorar la productividad, rentabilidad y reducir riesgo en su plantación.

Grupo 4: este grupo reúne a gerentes, contadores y representantes legales de tres asociaciones o cooperativas diferentes, los cuales comprenden el 6% de la población muestral. Dos de estas organizaciones cuentan con una página de internet propia que brinda información sobre la cooperativa, novedades que se presenten del cultivo y soportes para las certificadoras. El medio preferido para comunicarse con los productores es la llamada telefónica y WhatsApp.

Perú

Con la información obtenida de las encuestas realizadas a los productores, se depuraron los datos y se conformó una matriz con 68 variables cualitativas, de las cuales, a través del análisis de correspondencia múltiple, se realizó la selección de 13 variables, ya que representaban un 60 % de la expresión de la variabilidad del total de variables estudiadas. Esas variables fueron:

¿Conoce cuál es el tipo de suelo de su finca?, Número de años que tengo conservando y accesible los registros, Racimos cosechados, Numero de años que tengo conservando y accesible los registros, Como reportan el dato a la asociación, Cajas por semanas, Numero de años que tengo conservando y accesible los registros, Como reportan el dato a la asociación, Ventas y rechazos, Como reportan el dato a la asociación, Costos, Fechas de actividades, y Vigor de plantas.

Por otra parte, para el caso de las encuestas realizadas a los técnicos, se seleccionaron 24 variables dado que el coeficiente de correlación fue superior a 0,6 lo cual indica que son las variables que más aportan a las varianzas de cada eje o componente principal. Estas variables fueron: Área en la cual trabaja, ¿Ha trabajado directamente en fincas de banano orgánico?, ¿Qué Aplicaciones y/o Programas usa en el celular como apoyo al trabajo de asistencia técnica?,

¿Enfrenta alguna dificultad en usar el internet o aplicativos como apoyo al trabajo?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los racimos encintados?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de los racimos encintados?, ¿Resume o analiza datos acerca de los racimos encintados como su responsabilidad?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los racimos cosechados?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de racimos cosechados?, ¿Resume o analiza datos acerca de racimos cosechados?, ¿Toma y registra datos acerca del número de cajas a la semana?, ¿Recibe datos ya colectados acerca del número de cajas a la semana?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca del número de cajas a la semana?, ¿Resume o analiza datos acerca del número de cajas a

la semana como su responsabilidad?, ¿Toma y registra datos acerca de ratio racimo/caja?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de ratio racimo/caja?, ¿Toma y registra datos acerca de certificaciones?, ¿Resume o analiza datos acerca de certificaciones?, ¿toma y registra datos acerca de fertilizantes aplicados?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los fertilizantes aplicados?,

¿Recibe datos ya colectados acerca de los repelentes o pesticidas usados?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca los repelentes o pesticidas usados?, ¿Resume o analiza datos acerca de los repelentes o pesticidas usados?, ¿Recibe datos ya colectados acerca las perdidas TRM?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca las perdidas TRM?, y ¿Resume o analiza datos acerca de las perdidas TRM?

A partir de la selección de las variables y el análisis de HCPC, se formaron seis grupos de productores de musáceas y los seis grupos de técnicos, en la región de Piura, con base a la población muestreada.

TIPOS DE PRODUCTORES EN PERÚ

Grupo 1: Comprende el 4% de la población encuestada. Este grupo se caracterizan por reportar un tipo de suelo pesado (Arc, Frc Arc) y franco (Arc Frc, Frc, L Frc, Frc L). Los reportes de campo lo hacen directamente a la organización o través de mensajes de texto. Llevan un registro de la finca. Los registros de campo lo tienen en un cuaderno y otros en la computadora. Las cosechas son semanales y lo registra el mismo productor. El registro de ventas y de la fruta rechazada es realizada por el mismo productor. Los costos de producción son llevados por el mismo productor. Se lleva un registro del vigor de las plantas y es el trabajador quien realiza esa labor. El tipo de riego es por inundación.

Grupo 2: Agrupa 48% de los encuestados, representan el mayor porcentaje de encuestas realizadas. La principal



variedad cultivada es del subgrupo Cavendish, cultivar Valery y el sistema de riego principal es por inundación. Indican conocer el tipo de suelo en su campo el cual varía de suelo pesado (Arc, Frc Arc) a suelo franco (Arc Frc, Frc, L Frc, Frc L). El reporte de daños lo hacen directamente al técnico. Mas de 50% reportan no llevar registro de costos. El registro de actividades lo realizan los trabajadores y no llevan registro del vigor de las plantas en campo.

Grupo 3: Agrupa 6% de los encuestados. Indican cultivar Cavendish Valery y utiliza el sistema de riego. 75% indicó no conocer el tipo de suelo que tienen en su campo de producción. El reporte de daños por plagas lo hacen directamente al técnico. Llevan registro de cosecha y del número de cajas por semana. El 25% indicó no llevar un registro de costo de producción. Las actividades en campo son registradas por el mismo productor. No llevan registro de monitoreo del vigor de las plantas en campo.

Grupo 4: Agrupa el 4% de los encuestados. Indican conocer su tipo de suelo que puede ser pesado (Arc, Frc Arc) o franco (Arc Frc, Frc, L Frc, Frc L). El 50% indico no reportar los daños que afectan la producción de banano en campo. El productor lleva un registro de la cosecha de racimos por semana. La mitad de encuestados indico llevar un registro del costo de producción y 100% indico no llevar un registro del vigor de plantas en campo.

Grupo 5: Agrupa el 30% de los encuestados, y es el segundo que agrupa al mayor número de encuestados. El 63% de este grupo indico desconocer el tipo de suelo de su campo de producción. El reporte de daños de campo lo realizan en su mayoría directamente al técnico de la organización. Todos llevan un registro semanal de la cosecha de racimos. El registro de actividades es realizado por el mismo productor. El 100% de los encuestados de este grupo indico no llevar un registro del vigor de las plantas en campo.

Grupo 6: Agrupa el 8% de los encuestados. En su mayoría cultivan banano Cavendish Valery y el riego utilizado es por inundación, la frecuencia de riego es variado y dependerá del programa de aperturas de compuertas para acceder al agua de riego. Todos los encuestados en este grupo manifestaron conocer el tipo de suelo que puede ser pesado (Arc, Frc Arc) o franco (Arc Frc, Frc, L Frc, Frc L). El 75% de este grupo indico no reportar los daños por plagas. La mayoría indica llevar un registro de cosecha semanal. Así mismo indicaron no llevar un registro de los rechazos. No llevan un registro del costo de producción. En plan de actividades en campo lo realiza mayormente el trabajador en coordinación con el técnico y le productor. No llevan un registro de monitoreo del vigor de las plantas en campo.

TIPOS DE TÉCNICOS EN PERÚ

Grupo 1: Comprende el 62.5% de la población encuestada. Este grupo por estar conformado por técnicos que trabajan el 90% en el área de producción y un 10% en certificación. El 50% posee su propia finca de banano. La mayoría indica que no encuentra dificultad para usar el internet como apoyo al trabajo. El 100% indico que no analizan o resumen datos de varios productores. Se observa en las respuestas que no se procesan ni analizan datos de producción y perdidas.

Grupo 2: Comprende el 6.25% de la población encuestada. Este grupo está conformado por un solo técnico de la cooperativa Aspraosra (Alto Piura), indica trabajar en el área de asistencia en producción y también produce banano. Se caracteriza por no utilizar datos ni analizar datos de productores. Lleva un registro en papel de los fertilizantes entregados a cada productor. No lleva un registro de las pérdidas de fruta y sobre todo los causados por el Thrip de la mancha roja.

Grupo 3: Comprende el 12.5% de la población encuestada. Este grupo está conformado por dos técnicos de la cooperativa Aspraosra y Asprosol (Alto Piura) respectivamente, realizan actividades de asistencia técnica en producción y certificación. No reciben datos directamente del productor. Preparan resúmenes de volumen y calidad de la producción de los productores socios. Se caracterizar por no manejar datos en la oficina y no



analizarlos.

Grupo 4: Corresponde a 6.25% de la población encuestada. Este grupo está conformado por un técnico de la cooperativa COOPAG ubicado en el Valle del río Chira, Sullana. Indica dar asistencia técnica en producción y certificación. También tiene como actividad la producción de banano. No usa internet para obtener información sobre banano. Recibe los datos de producción del productor o de otro técnico. No analiza los datos de descarte.

Grupo 5: Comprende 6.25% de la población encuestada. Este grupo está conformado por un técnico de la cooperativa APBOSMAM ubicado en el Valle del río Chira, Sullana. Indica dar asistencia técnica en producción. También tiene como actividad la producción de banano. Recibe los datos de producción del productor o de otro técnico. Indica tener dificultades para acceder al internet como apoyo al trabajo que realiza. De acuerdo con las respuestas dadas, indica recibir los datos del productor para procesarlos. Así mismo indica llevar un monitoreo de las causas de descarte de la fruta con énfasis en el Thrip de la mancha roja.

Grupo 6: Comprende el 6.25% de la población encuestada. Este grupo está conformado por un técnico de la cooperativa APBOSMAM ubicado en el Valle del río Chira, Sullana. Indica dar asistencia técnica en producción. No tiene como actividad la producción de banano. No tiene dificultades en acceder a internet en temas relacionados a su trabajo. Recibe los datos de producción directamente del productor o del técnico, la información recibida lo registra y procesa a fin de obtener un resumen de volumen y calidad de producción.

República Dominicana

Con la información obtenida de las encuestas realizadas a los productores, se depuraron los datos y se conformó una matriz con 86 variables cualitativas, de las cuales, a través del análisis de correspondencia múltiple, se realizó la selección de 22 variables teniendo en cuenta su poder discriminante para lograr la caracterización y tipificación, ya que representaron 54,2 % de la expresión de la variabilidad del total de variables estudiadas, lo cual es adecuado de acuerdo con Pla (1986) e Lezzoni y Pritts (1991). Las variables que se seleccionaron dado que su coeficiente de correlación en el análisis multivariado fue superior a 0,6 fueron: Tipo de Riego,

¿Cuántos trabajadores fijos asegurados tiene (no incluye familiares)?, Tiene computadora en su casa?, YouTube, Cajas por semanas, Quién lo registra en la finca?, Donde lo registra en la finca, Como reportan el dato a la asociación, Numero de años que la asociación tiene conservando y accesible los registros de este dato, He tenido ocasión de acceder el dato de años anteriores, Plantilla de trabajadores, Quién lo registra en la finca?, Donde lo registra en la finca, Numero de años que tengo conservando y accesible los registros, A quien (es) entrega el dato la persona que toma o anota el dato, Número de años que la asociación tiene conservando y accesible los registros de este dato, He tenido ocasión de acceder el dato de años anteriores, Fertilizantes aplicados, Quién lo registra en la finca?, Donde lo registra en la finca, A quien reportan el dato a la asociación, Número de años que la asociación tiene conservando y accesible los registros de este dato, Donde lo registra en la finca, Como reportan el dato a la asociación, Quién lo registra en la finca?, Donde lo registra en la finca, Como reportan el dato a la asociación, Donde lo registra en la finca, Donde lo registra en la finca, Quién lo registra en la finca?, Donde lo registra en la finca, A quien reportan el dato a la asociación, Donde lo registra en la finca, Como decide usar riego suplementario con bomba en caso que tuviera?.

En cuanto a las encuestas realizadas a los técnicos, a través del análisis de correspondencia múltiple, se seleccionaron 34 variables dado que su coeficiente de correlación fue superior a 0,6 lo que indica que son las que más aportan a las varianzas. Esas variables fueron: ¿Área en la cual trabaja?, ¿Cuántos años tiene asistiendo a la producción de banano o plátano de cualquier tipo?, Tipo de celular, ¿Dónde acostumbra a conectarse a wifi gratuito?, Tipo de conexión a internet que tiene en su casa, ¿Para qué ocupa la computadora e internet en la casa?, En su zona de trabajo cómo caracteriza la señal, ¿Con qué frecuencia usa el internet para conseguir información



sobre banano?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los racimos encintados?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de los racimos encintados?, ¿Resume o analiza datos acerca de los racimos encintados como su responsabilidad?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los racimos cosechados?, ¿Resume o analiza datos acerca de los racimos cosechados como su responsabilidad?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca del número de cajas a la semana?, ¿Resume o analiza datos acerca del número de cajas a la semana como su responsabilidad?, ¿Recibe datos ya colectados acerca del ratio racimo/caja?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca del ratio racimo/caja?, ¿Resume o analiza datos acerca del ratio racimo/caja como su responsabilidad?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de registros de certificaciones?, ¿Resume o analiza datos acerca de registros de certificaciones?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los fertilizantes aplicados?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de los fertilizantes aplicados?, ¿Resume o analiza datos acerca de los fertilizantes aplicados como su responsabilidad?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de los repelentes, pesticidas usados?, ¿Toma o registra datos acerca de perdidas TMR?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de perdidas TMR?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de perdidas por otras causas?, ¿Entra o archiva datos en oficina acerca de perdidas por otras causas?, ¿Toma o registra datos acerca de sigatoka?, ¿Recibe datos ya colectados acerca de sigatoka?, ¿Resume o analiza datos acerca de sigatoka?, ¿Dificultades para la toma de información?, ¿ dificultades para medir indicadores de mejora continua y Benchmarking?, ¿Cómo identificó esos temas?, y Donde consulta para estar informado de los pronósticos de condiciones de tiempo o meteorológicas para los próximos días?.

A partir de la selección de las variables y el análisis de HCPC, se formaron cinco (5) grupos de productores de banano y seis (6) grupos de técnicos, con base a la población muestreada.

Con estos resultados, se realizó el análisis de conglomerados (Der y Everitt, 2001) que minimiza las varianzas entre los grupos y maximiza las varianzas dentro de cada grupo. Mediante la aplicación de este análisis se pudo determinar seis grupos de técnicos y cinco tipos de productores de banano en la Línea Noroeste, con base a la población muestreada.

TIPOS DE PRODUCTORES DE REPÚBLICA DOMINICANA

Grupo 1: Comprende el 82% de la población encuestada. Este grupo se caracteriza porque el 100% de los productores tiene riego por inundación. El 20% no tiene riego suplementario con bomba. En las fincas tienen un promedio de 4 trabajadores fijos asegurados. Todos tienen computadora en su casa. Nadie en la familia participa en video llamadas o conferencias en vivo.

En cuanto al registro de datos productivos y financieros de su finca, todos registran las cajas por semanas. El 66% no registra datos sobre las ventas y rechazos en la finca y cuando registran lo hace el capataz. De los que registran datos sobre las ventas y rechazos en la finca, lo hacen en cuaderno propio. El 66 % no reporta el dato sobre las ventas y rechazos en la finca a la asociación, y quienes lo hacen lo hacen al técnico. El 100% no registra las perdidas por Trips de la mancha roja. El 100% no registran las pérdidas por otras causas. El 66% no registra costos y los que lo hacen registran en cuadernos propios. El 33% no registra otras actividades de la finca y los que lo hacen registran en formulario de asociación y en cuaderno de la asociación. El 100% registra datos sobre Sigatoka negra y lo hacen en formulario de la asociación.

Grupo 2: Representa el 6% de los encuestados. Este grupo se caracteriza porque el 67% de los productores tiene riego por inundación. El 100% no utiliza riego suplementario con bomba. En las fincas tienen un promedio de 9 trabajadores fijos asegurados. El 100 % no tiene computadora en su casa. El 11% en la familia participa en video llamadas o conferencias en vivo.

En cuanto al registro de datos productivos y financieros de su finca, el 100% solo registra las cajas por semanas. El 33% registra datos sobre las ventas y rechazos en la finca y lo hace mayormente el capataz. De los que registran



datos sobre las ventas y rechazos en la finca, lo hacen en formulario de la asociación, cuaderno de la asociación, cuaderno propio y en hoja sueltas. El 100

% no reporta el dato sobre las ventas y rechazos en la finca a la asociación. El 90% no registra las pérdidas por Trips de la mancha roja, y cuando registran lo hace el capataz, el productor o el técnico de Asociación. Cuando registran lo hacen en formulario o en cuaderno de la asociación, y en computadora. El 100 % no registra las pérdidas por otras causas. El 78% no registra costos y los que lo hacen registran en cuadernos propios, cuadernos de la asociación, hojas sueltas y computadoras. El 7% no registra otras actividades de la finca y los que lo hacen registran en formulario de asociación, cuaderno de la asociación, cuaderno propio, hojas sueltas guardada y computadora. El 33% registra datos sobre el vigor de las plantas, y cuando registran lo hacen los técnicos, el capataz y el trabajador en formulario de la asociación y lo reportan a los técnicos. El 100% registra datos sobre Sigatoka negra y lo hacen en formulario de la asociación, cuadernos propios, hojas sueltas y computadoras.

productores tiene riego por inundación. El 33% utiliza riego suplementario con bomba

En las fincas tienen un promedio de 26 trabajadores fijos asegurados. El 33 % tiene computadora en su casa. Nadie en la familia participa en video llamadas o conferencias en vivo.

En cuanto al registro de datos productivos y financieros de su finca, todos registran las cajas por semanas. El 67% registra datos sobre las ventas y rechazos en la finca y lo hace el capataz o el mismo productor. De los que registran datos sobre las ventas y rechazos en la finca, lo hacen en cuaderno de la asociación o en hojas sueltas. El 67 % reporta el dato sobre las ventas y rechazos en la finca a la asociación, y quienes lo hacen lo reportan al técnico o directamente a la asociación. Cuando registran, lo hacen en formulario o en cuaderno de la asociación. El 67% registra las pérdidas por otras causas, y son registradas por el trabajador o el capataz. De los que registran pérdidas por otras causas en la finca, lo hacen en formularios de la asociación. Los productores reportan el dato a los técnicos. El 50% no registra costos y los que lo hacen registran en cuadernos propios y hojas sueltas. El 17% no registra otras actividades de la finca y los que lo hacen registran en formulario de asociación y en cuaderno de la asociación El 67% registra datos sobre el vigor de las plantas y cuando registran lo hacen los técnicos y el capataz, en formulario de la asociación y lo reportan a los técnicos. El 100% registra datos sobre Sigatoka negra y lo hacen en formulario de la asociación y hojas sueltas.

Grupo 4: Agrupa el 4% de los encuestados. Este grupo se caracteriza porque el 100% de los productores tiene riego por inundación. El 50% utiliza riego suplementario con bomba. En las fincas tienen un promedio de 10 trabajadores fijos asegurados. El 100 % no tiene computadora en su casa. Nadie en la familia participa en video llamadas o conferencias en vivo.

En cuanto al registro de datos productivos y financieros de su finca, todos registran las cajas por semanas. 100% registra datos sobre ventas y rechazos en la finca y lo hace el mismo productor, lo hacen en cuaderno de la asociación o en hojas sueltas. El 100 % reporta el dato sobre las ventas y rechazos en la finca a la asociación, y lo reportan al técnico o directamente a la asociación. Cuando registran, lo hacen en formulario o en cuaderno de la asociación. El 100% registra las pérdidas por otras causas, y las mismas son registradas por el trabajador o el capataz. Los productores reportan el dato a los técnicos. El 50% no registra costos y los que lo hacen registran en cuadernos propios y hojas sueltas. El 17% no registra otras actividades de la finca y los que lo hacen registran en formulario de asociación y en cuaderno de la asociación El 100% registra datos sobre el vigor de las plantas y cuando registran lo hacen los técnicos y el capataz, en formulario de la asociación y lo reportan a los técnicos. El 100% registra datos sobre Sigatoka negra y lo hacen en formulario de la asociación y hojas sueltas.

El 100 % no tiene computadora en su casa. Nadie en la familia participa en video llamadas o conferencias en vivo.



En cuanto al registro de datos productivos y financieros de su finca, todos registran las cajas por semanas. El 100% no registra datos sobre las ventas y rechazos en la finca. El 100% no registra pérdidas por otras causas en la finca. El 50% no registra costos y los que lo hacen registran en cuadernos propios y hojas sueltas. El 17% no registra otras actividades de la finca y los que lo hacen registran en formulario de asociación y en cuaderno de la asociación. El 100% no registra datos sobre el vigor de las plantas. El 100% registra datos sobre Sigatoka negra y lo hacen en formulario de la asociación y hojas sueltas.

TIPOS DE TÉCNICOS DE REPÚBLICA DOMINICANA

Grupo 1: Este grupo representa el 8,3 % de los encuestados. El 100% de los técnicos trabajan en el área de certificación. Tienen un promedio de 3 años asistiendo a la producción de banano o plátano de cualquier tipo. El 100% posee teléfonos Smartphone. El 100% acostumbra a conectarse a wifi gratuito en lugares sociales. El 100% tiene en su casa conexión a internet propia. El 100% utiliza el internet para consultar información técnica sobre el cultivo. El 50% caracteriza la señal de su internet en su zona de trabajo como de cobertura completa pero débil señal en algunos puntos. El 100% usa cada mes el internet para conseguir información sobre banano.

En cuanto a los registros productivos y financieros de las fincas bananeras, el 100% de los técnicos, no recibe el dato sobre racimos encintados. El 100% entra o archiva los datos en oficina utilizando papel. El 100% utiliza otro tipo de resumen/análisis de datos como responsabilidad. El 100% no recibe el dato del productor u otro delegado de cada finca. El 100% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 100% prepara resúmenes de múltiples productores para certificación. El 100% recibe el dato sobre racimos cosechados de otro técnico. El 40% no maneja el dato en la oficina, el 20% archiva el dato en papel, y el 40% Entrego el dato que tomo o recibo a otra persona. En cuanto a registro certificaciones, el 100% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 100% recibo el dato recibe el dato de otro técnico. El 100% no recibe el dato sobre los repelentes y pesticidas usados. El 100% de los técnicos no toma datos sobre las perdidas por el trip de la mancha roja y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato. El 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% de los técnicos no recibe el dato ya colectado sobre otras perdidas. El 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% de los técnicos no toma el dato sobre Sigatoka negra y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato. El 100% recibe el dato de otro técnico. El 100% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año.

En cuanto a las estrategias de mejora continua y benchmarking, el 100% de los técnicos califica como peor el estado de los mejores productores que atiende hoy comparado con 5 años atrás. El 100% identifico los temas de mejora utilizando los datos presentados por la asociación. Para estar informados de los pronósticos de condiciones de tiempo o meteo para los próximos días, el 100% busca en programas radiales y en sitios de internet.

Grupo 2: Este grupo representa el 8,3% de los encuestados. El 100% de los técnicos trabajan en el área de producción. Tienen un promedio de 5 años asistiendo a la producción de banano o plátano de cualquier tipo. El 100% posee teléfonos Smartphone. El 100% acostumbra a conectarse a wifi gratuito en oficinas públicas. El 100% no acostumbra a conectarse a wifi gratuito. El 100% tiene en su casa conexión a internet propia. El 100% utiliza no utiliza el internet para asuntos de trabajo. El 100% caracteriza la señal de su internet en su zona de trabajo como de cobertura completa pero débil señal en algunos puntos. El 100% usa muy de vez en cuando el internet para conseguir información sobre banano.

En cuanto a los registros productivos y financieros de las fincas bananeras, el 100% de los técnicos, recibe el dato sobre racimos encintados del productor u otro delegado de cada finca. El 100% entra o archiva los datos en oficina utilizando papel. El 100% prepara resúmenes de volumen y calidad de producción. El 100% recibe el dato sobre racimos cosechados del productor u otro delegado de cada finca. El 100% archiva el dato en papel. El 100% prepara resúmenes de volumen y calidad de producción. El 100% recibe el dato ya colectado sobre la ratio racimos/caja



del productor u otro delegado de cada finca. El 100% archiva el dato en papel. En cuanto a registro certificaciones, el 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% recibe el dato sobre fertilizantes aplicados del productor u otro delegado de cada finca. El 100% recibe de otro técnico el dato sobre los repelentes y pesticidas usados. El 100% de los técnicos no toma datos sobre las pérdidas por el trip de la mancha roja y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato. El 100% de los técnicos no toma datos sobre las pérdidas por el trip de la mancha roja y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato. El 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% de los técnicos no recibe el dato ya colectado sobre otras pérdidas. El 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% de los técnicos no toma el dato sobre Sigatoka negra, pero tiene otras responsabilidades en su manejo. El 100% recibe el dato del productor u otro delegado de cada finca. El 100% prepara resúmenes de múltiples productores para certificación.

En cuanto a las estrategias de mejora continua y benchmarking, el 100% de los técnicos califica como mejor el estado de los mejores productores que atiende hoy comparado con 5 años atrás. El 100% identifico los temas de mejora mediante Impresiones basadas en visitas a fincas. Para estar informados de los pronósticos de condiciones de tiempo o meteo para los próximos días, el 100% busca en sitios de internet.

Grupo 3: Este grupo representa el 8,3% de los encuestados. El 100% de los técnicos trabajan en el área de producción. Tienen un promedio de 16 años asistiendo a la producción de banano o plátano de cualquier tipo. El 100% posee teléfonos Smartphone. El 100% no acostumbra a conectarse a wifi gratuito. El 100% no acostumbra a conectarse a wifi gratuito. El 100% tiene en su casa conexión a internet propia. El 100% utiliza no utiliza el internet para asuntos de trabajo. El 100% caracteriza la señal de su internet en su zona de trabajo como de cobertura completa y muy buena señal. El 100% usa diario el internet para conseguir información sobre banano.

En cuanto a los registros productivos y financieros de las fincas bananeras, el 100% de los técnicos, recibe el dato sobre encintado de racimos del productor u otro delegado de cada finca. El 100% entra o archiva los datos en oficina utilizando papel. El 100% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año. El 100% recibe el dato del productor u otro delegado de cada finca. El 100% archiva el dato en papel. El 100% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año. El 100% recibe el dato ya colectado sobre la ratio racimos/caja del productor u otro delegado de cada finca. El 100% archiva el dato en papel. En cuanto a registro certificaciones, el 100% no manejo el dato en la oficina. El 100% recibe el dato sobre fertilizantes aplicados del productor u otro delegado de cada finca. El 100% no recibe el dato sobre los repelentes y pesticidas usados. El 100% de los técnicos no toma datos sobre las pérdidas por el trip de la mancha roja y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato. El 100% de los técnicos no toma datos sobre las pérdidas por el trip de la mancha roja y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato. El 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% de los técnicos no recibe el dato ya colectado sobre otras pérdidas. El 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% de los técnicos no toma el dato sobre Sigatoka negra, pero tiene otras responsabilidades en su manejo. El 100% recibe el dato del productor u otro delegado de cada finca. El 100% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año.

En cuanto a las estrategias de mejora continua y benchmarking, el 100% de los técnicos califica como peor el estado de los mejores productores que atiende hoy comparado con 5 años atrás. El 100% identifico los temas de mejora utilizando los comentarios de técnicos y productores. Para estar informados de los pronósticos de condiciones de tiempo o meteorológicos para los próximos días, el 100% no realiza ninguna consulta.

Grupo 4: Este grupo representa el 41,7% de los encuestados. El 40% de los técnicos trabajan en el área de producción, el 20% en certificación y el 40% en calidad. Tienen un promedio de 3.8 años asistiendo a la producción de banano o plátano de cualquier tipo. El 60% posee teléfonos Smartphone y el 40% posee teléfonos sencillos



para llamada y texto. El 40% no acostumbra a conectarse a wifi gratuito, el 40% acostumbra a conectarse en oficinas públicas y el 20% se conecta en lugares sociales. El 60% tiene en su casa conexión a internet propia, y el 40% utiliza conexión a internet prestada. El 60% utiliza el internet para consultar información técnica sobre el cultivo, el 20% utiliza el internet para guardar registros sobre el estado productivo de finca y el 20% lo usa para conseguir información técnica sobre el cultivo. El 40% caracteriza la señal de su internet en su zona de trabajo como de cobertura completa y muy buena señal, el 40% como de buena cobertura con algunos puntos sin cobertura, y el 20% como de cobertura incompleta o débil generalizada. El 60% usa muy de vez en cuando el internet para conseguir información sobre banano, el 20% lo usa cada semana y el 20% lo usa diario.

En cuanto a los registros productivos y financieros de las fincas bananeras, el 80% de los técnicos, recibe el dato sobre racimos encintados del productor u otro delegado de cada finca, y el 20% recibe el dato de otro técnico. En cuanto a los racimos cosechados, el 50% de los técnicos, recibe el dato del productor u otro delegado de cada finca. El 50% entrega el dato que toma o recibe a otra persona, entra o archivo los datos en oficina utilizando papel, y el 50% entrega el dato a otra persona, el 20% no maneja el dato en la oficina y el 20% archiva el dato en forma electrónica. El 40% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año, el 20% prepara resúmenes de volumen y calidad de producción y el 40% usa otro tipo de resumen/análisis de datos como responsabilidad. El 60% entrega el dato que toma o recibe a otra persona y el 40% no maneja el dato en la oficina. El 20% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año, el 40% prepara resúmenes de volumen y calidad de producción, y el 40% prepara resúmenes de múltiples productores para certificación. El 100% no recibe el dato, el 40% recibe el dato de otro técnico, y el 40% recibe el dato del productor u otro delegado de cada finca. El 50% archiva el dato en papel, y el 50% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. En cuanto a registro certificaciones, el 40% archiva el dato en papel, y el 60% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 50% recibe el dato sobre fertilizantes aplicados no recibe el dato, y el 50% recibe el dato del dato del productor u otro delegado de cada finca. El 20% no recibe el dato sobre los repelentes y pesticidas usados y el 80% recibe el dato de otro técnico. El 40% de los técnicos no toma datos sobre las pérdidas por el trip de la mancha roja y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato, el 20% no toma el dato, pero tiene otras responsabilidades en el manejo, y el 40% toma dato como responsabilidad laboral. El 40% no maneja el dato en la oficina, el 20% archiva el dato en papel, y el 40% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 60% de los técnicos no recibe el dato ya colectado sobre otras pérdidas, y el 40% recibe el dato de otro técnico. El 60% no maneja el dato en la oficina, el 20% archiva el dato en papel, y el 20% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 80% de los técnicos no toma el dato sobre Sigatoka negra y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato, y el 20% toma dato como responsabilidad laboral. El 20% recibe el dato del productor u otro delegado de cada finca, y el 80% recibe el dato de otro técnico. El 40% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año, el 20% prepara resúmenes de volumen y calidad de producción, y el 40% prepara resúmenes de múltiples productores para certificación.

En cuanto a las estrategias de mejora continua y benchmarking, el 40% de los técnicos califica como peor el estado de los mejores productores que atiende hoy comparado con 5 años atrás, el 20% lo considera igual, y el 40% lo considera mejor. El 80% identifico los temas de mejora mediante Impresiones basadas en visitas a fincas, y el 20% usando otros criterios. Para estar informados de los pronósticos de condiciones de tiempo o meteo para los próximos días, el 60% busca en sitios de internet, el 20% consulta la asociación, y el 20% utiliza otras fuentes de información.

Grupo 5: Este grupo representa el 16,7% de los encuestados. El 100% de los técnicos trabajan en el área de certificación. Tienen un promedio de 8.5 años asistiendo a la producción de banano o plátano de cualquier tipo. El 50% posee teléfonos Smartphone y el 50% posee teléfonos sencillos para llamada y texto. El 50% no acostumbra



a conectarse a wifi gratuito, y el 50% acostumbra a conectarse en oficinas públicas. El 50% tiene en su casa conexión a internet propia, y el 50% utiliza conexión a internet prestada. El 50% utiliza el internet para guardar registros sobre el estado productivo de finca y el 50% lo usa para conseguir información técnica sobre el cultivo. El 50% caracteriza la señal de su internet en su zona de trabajo como de cobertura completa pero débil señal en algunos puntos, y el 50% como de cobertura completa y muy buena señal. El 50% usa muy de vez en cuando el internet para conseguir información sobre banano y el 50% lo usa cada mes.

En cuanto a los registros productivos y financieros de las fincas bananeras, el 50% de los técnicos, recibe el dato sobre racimos encintados del productor u otro delegado de cada finca, y el 50% no recibe el dato. El 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año. El 50% no recibe el dato sobre racimos cosechados del productor u otro delegado de cada finca y el 50% recibe el dato de otro técnico. El 50% no maneja el dato en la oficina y el 50% archiva el dato en papel. El 50% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año, y el 50% prepara resúmenes de múltiples productores para certificación. El 50% no recibe el dato, y el 50% recibe el dato de otro técnico. El 50% no maneja el dato en la oficina y el 50% archiva el dato en papel. En cuanto a registro certificaciones, el 50% archiva el dato sobre racimos encintados en papel, y el 50% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 50% recibe el dato sobre fertilizantes aplicados del productor u otro delegado de cada finca, y el 50% recibe el dato de otro técnico. El 50% no recibe el dato sobre los repelentes y pesticidas usados, y el 50% recibe el dato de otro técnico. El 100% de los técnicos no toma datos sobre las pérdidas por el trip de la mancha roja y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato. El 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% de los técnicos no recibe el dato ya colectado sobre otras pérdidas. El 100% no maneja el dato en la oficina. El 100% de los técnicos no toma el dato sobre Sigatoka negra y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato.

El 50% recibe el dato del productor u otro delegado de cada finca, el 50% recibe el dato de otro técnico. El 100% prepara resúmenes de múltiples productores para certificación.

En cuanto a las estrategias de mejora continua y benchmarking, el 100% de los técnicos califica como mejor el estado de los mejores productores que atiende hoy comparado con 5 años atrás. El 50% identifico los temas de mejora mediante impresiones basadas en visitas a fincas, y el 50% usando otros criterios. Para estar informados de los pronósticos de condiciones de tiempo o meteo para los próximos días, el 50% busca en sitios de internet, y el 50% consulta en la asociación.

Grupo 6: Este grupo representa el 16,7% de los encuestados. El 100% de los técnicos trabajan en el área de producción. Tienen un promedio de 7.5 años asistiendo a la producción de banano o plátano de cualquier tipo. El 100% posee teléfonos Smartphone. El 100% no acostumbra a conectarse a wifi gratuito. El 100% tiene en su casa conexión a internet propia. El 100% utiliza el internet para consultar información técnica sobre el cultivo. El 100% caracteriza la señal de su internet en su zona de trabajo como de cobertura completa pero débil señal en algunos puntos. El 50% usa muy de vez en cuando el internet para conseguir información sobre banano y el 50% lo usa cada mes.

En cuanto a los registros productivos y financieros de las fincas bananeras, el 100% de los técnicos, recibe el dato sobre racimos encintados del productor o de otro delegado de cada finca. El 50% entra o archiva los datos en oficina utilizando papel, y el 50% entrega el dato a otra persona. El 50% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año, y el 50% prepara resúmenes de volumen y calidad de producción. El 100% recibe el dato sobre racimos cosechados del productor u otro delegado de cada finca. El 50% archiva el dato en papel y el 50% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 50% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año, y el 50% prepara resúmenes de volumen y calidad de producción. El



100% recibe el dato ya colectado sobre la ratio racimos/caja del productor u otro delegado de cada finca. El 50% archiva el dato en papel, y el 50% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. En cuanto a registro certificaciones, el 50% archiva el dato en papel, y el 50% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 50% no recibe el dato sobre fertilizantes aplicados, y el 50% recibe el dato de otro técnico. El 50% no recibe el dato sobre los repelentes y pesticidas usados, y el 50% recibe el dato de otro técnico. El 100% de los técnicos no toma datos sobre las pérdidas por el trip de la mancha roja y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato. El 50% no maneja el dato en la oficina y el 50% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 100% de los técnicos no recibe el dato ya colectado sobre otras pérdidas. El 100% entrega el dato que toma o recibe a otra persona. El 50% de los técnicos no toma el dato sobre Sigatoka negra y no tiene ningún contacto o responsabilidad con este dato, y el 50% toma el dato como responsabilidad laboral.

El 50% recibe el dato del productor u otro delegado de cada finca, y el 50% recibe el dato de otro técnico. El 100% no analiza o resume datos de varios productores en ningún momento del año.

En cuanto a las estrategias de mejora continua y benchmarking, el 100% de los técnicos califica como peor el estado de los mejores productores que atiende hoy comparado con 5 años atrás. El 50% identifico los temas de mejora utilizando los datos presentados por la asociación, y el 50% mediante Impresiones basadas en visitas a fincas. Para estar informados de los pronósticos de condiciones de tiempo o meteo para los próximos días, el 100% busca en sitios de internet.

Análisis cuantitativo

A partir de los 194 artículos preseleccionados, debido a que en título y resumen del estudio se resaltaba el uso de datos meteorológicos, predicción de rendimiento o de crecimiento y soportaban una aplicación, se realizó el siguiente análisis de la producción científica:

Indicadores de actividad y cuantitativos

Los principales indicadores de actividad en la cual se pueden apreciar la dinámica de publicaciones, autores (investigadores) y países líderes, así como instituciones y principales fuentes de consulta. Como punto importante a destacar es el marcado crecimiento en el número de publicaciones en los últimos cinco años donde la tasa de crecimiento promedio anual es del 9,3% y un tiempo promedio por publicación de 2 años.

Igualmente, se generaron indicadores cuantitativos que permiten verificar el impacto que ha generado la producción científica de artículos en el tema analizado.

La fuente de consulta con mejor tendencia de crecimiento en el tema de predicción de rendimiento es la revista *Remote sensing* y las fuentes con más impacto (mayores índice H) han sido *Agricultural And Forest Meteorology*, *Agricultural Systems*, *European Journal Of Agronomy*, *Nongye Gongcheng Xuebao Transactions Of The Chinese Society Of Agricultural Engineering* y *Remote sensing*

Indicadores de coocurrencia

Por medio de un análisis de flujo cruzado a partir de un gráfico de Sankey donde se relacionan países, instituciones y palabras claves se pueden identificar tópicos relevantes en el corpus analizado. Es así como, China a través de las afiliaciones institucionales con la China Agricultural University y Nanjing agricultural University genera el mayor número de publicaciones relacionadas con aplicativos y modelos de predicción de rendimiento más específicamente con sensores remotos, análisis de crecimiento vegetal y machine learning en función de la humedad del suelo con el fin de dar manejo al estrés hídrico. Estados Unidos, a través de las Universidades de Florida, Illinois y Wisconsin han investigado en los temas de deep learning, sensores remotos, arboles de decisión



y radiometría. El tercer flujo importante lo constituye el país de Francia con el CIRAD y la Universidad de Montpellier con desarrollos en sensores remotos, utilización de algoritmos simples, pronósticos de impactos agrometeorológicos y técnicas de regresión comparativas para determinar respuestas de rendimiento.

En un mapa de densidad con base en la coocurrencia de palabras clave donde se pueden evidenciar tópicos con mayor y menor relevancia en el tema mostrado a su vez clústeres de focalización de la investigación. Este mapa muestra a través de una escala colorimétrica la densidad de ocurrencia de palabras claves donde el color rojo muestra tópicos altamente desarrollados, el amarillo tópico con mediano desarrollo y el color verde, tópicos de frontera con desarrollo específico.

En el color rojo son predominantes la utilización de sensores remotos, modelos climáticos, análisis de regresión múltiples, análisis espacio temporal, aprendizaje automático (machine learning), árboles de decisión, análisis de desarrollo fenológico de cultivo e índices de vegetación. Los tópicos medianamente desarrollados mostrados en color amarillo comprenden: predicción de rendimiento a través del análisis con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), datos de humedad de suelo y temperatura, métodos probabilísticos de análisis de la incertidumbre. En verde son recurrentes los temas de análisis espacio temporales, regresiones lineares múltiples, utilización de drones, análisis de series de tiempo e imágenes satelitales.

Mapa temático de tendencias

Tópicos Motor: Son aquellos tópicos que se ubican en el cuadrante superior derecho, los cuales se caracterizan por una alta importancia en el tema de investigación (centralidad) y un alto desarrollo del tema (densidad).

Tópicos Base o transversales: Son aquellos tópicos que se ubican en el cuadrante inferior derecho, los cuales se caracterizan por tener una importancia media y alto desarrollo.

Tópicos emergentes o decadentes: son aquellos tópicos en el cuadrante inferior izquierdo cuya importancia y desarrollo aún es baja y puede estar asociada a un tópico relativamente nuevo o un tópico que ha perdido relevancia.

Tópicos altamente desarrollados: son aquellos tópicos en el cuadrante superior izquierdo que cuenta con un alto desarrollo, pero aún su importancia global es baja.

Aplicativos o modelos similares en el mercado.

Como resultado de la revisión de los 152 artículos que hicieron parte del corpus final de registros del estudio de vigilancia científica, dado que se logró contar con la versión completa de estos artículos y claramente hacían uso de algún tipo de modelo o aplicativo que integra datos meteorológicos para estimar o predecir algún indicador de cultivo, se encontró que hay diferentes tipo de modelos y grados de desarrollo o validación de estos, además que su aplicación se ha realizado en diferentes cultivos, siendo escasos los empleados en el cultivo de banano y plátano. La clasificación del tipo de modelo se hizo en cuatro: software, modelo de pronóstico, modelo de simulación y modelo estadístico o matemático.

Con el fin de especificar las características de los aplicativos, modelos matemáticos o plataformas de cálculos que se reportan en la literatura consultada, a continuación, se hace una breve explicación de los principales modelos encontrados.

Yield Predictor for Rainfed Areas (YPRA) es una aplicación de software de escritorio. YPRA predice el rendimiento de una sola ubicación, así como de varias ubicaciones, basado en RPEI (Índice de eficiencia de producción relativa)'. El RPEI se rige por varios parámetros fisiográficos, físicos y químicos del suelo, biológicos y climáticos fácilmente



determinables. YPRA ayudara a promover una agricultura resiliente al clima al trazar una planificación de contingencia de cultivos adecuada para enfrentar condiciones climáticas abruptas (Sharma et al., 2019).

INSEY (in-season estimated yield) o Modelo de rendimiento estimado estacional es empleado para predecir el potencial de rendimiento de grano (YP). Se calcula dividiendo el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en unos estadios de crecimiento específicos para el cultivo que se esté evaluando, entre los grados-días de crecimiento (GDD), como se muestra en la siguiente ecuación para el cultivo de trigo:

$$\text{INSEY} = \text{NDVI at (FK4 + FK5)} / \text{GDD at FK4}$$

Donde GDD, es calculado como $((T_{\text{max}} + T_{\text{min}} / 2) - T_{\text{base}} > 0)$ con T_{max} , T_{min} y T_{base} definidos como temperaturas máximas diaria, mínima diaria y base (4,4 °C), respectivamente (Aula et al., 2021).

Crop-SI es un modelo semi-empírico para estimar el rendimiento de canola, trigo y cebada en Australia. Crop-SI combina una descripción de detección remota de la fijación de carbono de las plantas durante la temporada de crecimiento con índices de estrés derivados de datos meteorológicos en las etapas críticas de crecimiento de los cultivos. (p. ej., antesis y relleno de granos) (Yang et al., 2020).

InVEST es un conjunto de modelos de software de código abierto gratuitos que se utilizan para mapear y valorar los bienes y servicios de la naturaleza que sustentan y satisfacen la vida humana, por ejemplo, se encuentra el modelo de rendimiento hídrico anual. InVEST fue desarrollado por Natural Capital Project en la Universidad de Standford. Los modelos InVEST se basan en funciones de producción que definen cómo es probable que los cambios en la estructura y función de un ecosistema afecten los flujos y valores de los servicios de los ecosistemas en un paisaje terrestre o marino (Stanford University. 2021; Belete et al., 2020).

AquaCrop es un modelo de simulación de crecimiento de los cultivos desarrollado por la División de Tierras y Aguas de la FAO para evaluar el impacto del medio ambiente y la gestión de los cultivos sobre la producción, incluidos escenarios de cambio climático, en función del consumo de agua (FAO. 2021a). El modelo tiene cuatro submodelos: 1) el submodelo climático, que requiere temperaturas del aire máximas y mínimas diarias, lluvia, evapotranspiración de referencia (ET_o) y la concentración media anual de dióxido de carbono en la atmósfera general; 2) el balance hídrico del suelo; 3) el desarrollo fenológico del cultivo, crecimiento y rendimiento final; y 4) el submodelo de gestión que combina la aplicación de agua y los niveles de fertilización (Akinbile et al., 2020). AquaCrop puede simular la producción diaria de biomasa y el rendimiento final de cultivos herbáceos de un solo ciclo de crecimiento. El modelo asume que el campo es uniforme sin diferencias espaciales en el desarrollo del cultivo, transpiración, características del suelo o manejo. Solo se consideran los flujos de agua verticales entrantes (lluvia, riego y capilaridad) y salientes (evaporación, transpiración y percolación profunda) (FAO. 2021a).

Modelo de simulación de World Food Studies (WOFOST), para el análisis cuantitativo del crecimiento y la producción de cultivos de campo anuales (cultivos herbáceos). Cuantifica el crecimiento de los cultivos sobre la base de los procesos subyacentes, como la fotosíntesis, la respiración y cómo estos procesos son influenciados por condiciones ambientales. WOFOST distingue tres niveles de producción de cultivos: producción potencial (determinada por la variedad de cultivo, radiación y temperatura), *producción alcanzable (limitada)* (tienen en cuenta, además de la radiación, la temperatura y las características de las plantas, también los efectos de la disponibilidad de agua y nutrientes de las plantas), y *producción real (reducida)* (tiene en cuenta, además de los factores considerados en la *producción limitada*, la posible reducción del rendimiento de los cultivos por factores principalmente bióticos como malezas, plagas y enfermedades) (FAO. 2021b).

CERES (Crop-Environment REsource Synthesis) simula el crecimiento de los cultivos en respuesta al clima, el suelo,



el manejo, el balance hídrico, el balance de nitrógeno y los genotipos (Akinbile et al., 2020). Los modelos CERES se han probado para cultivos como maíz, trigo, soja, maní, arroz, papa, tomate, frijol seco, sorgo, mijo, pasto, garbanzo, caupí, frijol terciopelo, pasto *Brachiaria* y habas (Quantitative Plant. 2021). Los modelos CERES simulan bastante bien el rendimiento del grano, desarrollo fenológico, biomasa aérea, el índice de cosecha, evapotranspiración y el agua del suelo. Las otras variables que calcula, aunque menos precisas son número de granos, peso de grano, radiación fotosintéticamente activa interceptada (IPAR), índice de área foliar (LAI), temperatura del suelo y la dinámica del nitrógeno (N) (Basso et al., 2016).

CropSyst es un modelo de simulación aplicado a varios cultivos (maíz, trigo, cebada, soja, sorgo y altramuces) y regiones (oeste de EE. UU., Sur de Francia, norte y sur de Italia, norte de Siria, norte de España y oeste de Australia) (FAO. 2021c). Datos sobre el clima, el suelo y los insumos agrícolas se utilizan para simular el crecimiento y estimar la productividad de los cultivos en diversas prácticas de manejo (por ejemplo, operaciones de labranza) y según las condiciones del agua y nutriente (Mangani et al., 2018). El desarrollo del cultivo se simula en función del tiempo térmico necesario para alcanzar etapas de crecimiento específicas. El crecimiento diario de los cultivos se expresa como aumento de biomasa por unidad de superficie terrestre. El modelo tiene en cuenta cuatro factores que limitan el crecimiento de los cultivos: agua, nitrógeno, luz y temperatura (FAO. 2021c).

Los modelos anteriormente descritos han sido empleados en cultivos diferentes al banano y/o plátano. No obstante, aunque escasos, a continuación, se describen los modelos que han sido empleados o creados específicamente para este cultivo.

CROPWAT es un sistema de apoyo a la toma de decisiones desarrollado por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO para el cálculo de los requisitos de agua y de riego de los cultivos en función de los datos del suelo, el clima y los cultivos. Además, el programa permite el desarrollo de programas de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del suministro de agua para diferentes patrones de cultivo. Se puede utilizar para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y estimar el rendimiento de los cultivos tanto en condiciones de secano como de regadío (Toro-Trujillo et al. 2016; Akinbile et al., 2020; FAO. 2021d).

El modelo SIMBA fue construido para predecir patrones fenológicos y dinámica de cosecha en sistemas de cultivo de plátano. El clima (lluvia, temperatura, radiación solar) y las propiedades del suelo son parámetros de entrada necesarios para correr el modelo. Las características climáticas y del suelo se combinan con reglas de decisión que describen las prácticas agrícolas según el calendario y que son representadas mediante variables de control y umbrales (Tixier *et al.*, 2008). SIMBA incluye sub-modelos que simulan: el crecimiento (SIMBA-GROW), estructura de la población (SIMBA-POP), propiedades físicas del suelo (SIMBA-SOIL), balance de agua (SIMBA-WAT), densidad de población de nematodos (SIMBA-NEM) y dinámica del nitrógeno en el suelo (SIMBA-N) (Tixier et al. 2004; Guarín y Ochoa. 2011).

“Sistema experto en banano basado en la web semántica” utiliza algoritmos de aprendizaje automático para proporcionar asesoramiento experto a los usuarios finales. El sistema tiene dos módulos: 1) Módulo de asesoramiento de expertos, que toma ciertos detalles / atributos de los usuarios finales, con respecto a su cultivo y proporciona medidas de manejo, por ejemplo se puede hacer una evaluación del rendimiento el cual utiliza el algoritmo de optimización de búsqueda de Cuckoo para estimar el rendimiento de cada variedad de cultivo; y 2) el módulo del sistema de información que proporciona información sobre variedades, plagas, pesticidas, síntomas y enfermedades del cultivo de banano (Puvvada and Prasad. 2018).

Modelo AAB es un modelo de crecimiento basado en procesos que tiene en cuenta las características específicas del cultivo de plátano que incluye parámetros que afectan el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento. Este



modelo se evaluó en cinco variedades de plátanos comúnmente cultivados en Camerún (Batard, Big Ebanga, Essong, French clair y Mbouroukou (n°3) y cuatro híbridos de plátano (CRBP39, D248, D535 y FHIA21). Los parámetros que describen la conversión de la radiación interceptada en materia seca se evaluaron mediante el ajuste del modelo. La eficiencia fotosintética fue significativamente mayor para los plátanos cultivados comúnmente que para los híbridos. El modelo simuló de manera realista el desarrollo, crecimiento y producción de racimos para cinco variedades (Dépigny et al. 2016).

Por otra parte, se lograron identificar algunas plataformas de cálculos que apoyan la toma de decisiones para el manejo del cultivo de plátano y banano en las regiones productoras de Colombia, entre ellas están:

ALCLIMA, que fue la primera plataforma de buenas prácticas climáticas en Colombia, la cual inició en el 2015. Con esta innovación se le dio al país una herramienta de coordinación e intercambio de ideas en cambio climático para que los líderes de todo el territorio compartan sus iniciativas transformadoras y sigan construyendo una comunidad de inspiración y liderazgo en cambio climático. ALCLIMA es el resultado de un trabajo entre distintos líderes colombianos de todos los sectores del país quienes participaron en un Laboratorio de Acción Climática “ACTION LAB” organizado por la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Los participantes del ACTION LAB idearon nuevas formas de coordinar acciones para enfrentar el cambio climático y desarrollaron el prototipo de coordinación ALCLIMA. Esta iniciativa, pionera en el país, contó con el apoyo de SEMANA Sostenible, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN), la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena y el INVEMAR (Alianza clima y desarrollo, 2021).

El IDEAM es una institución pública de Colombia, de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilita la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general. Esta institución reporta para todo el país datos hidrometeorológicos con históricos de más de 30 años (IDEAM, 2021).

El Portal Banasoft desarrollado para productores de banano afiliados a C.I. Técnicas Baltim de Colombia S.A., es una herramienta tecnológica que les permite obtener información actualizada sobre calidad de la fruta que produce para exportación, producción, embarques y reportes relativos a la misma, para una mejor gestión de sus fincas y cultivos, así como datos climáticos y la gestión de esta para el manejo eficiente de los recursos suelo y agua (Tebaco, 2021).

Sistema experto M.A.P.A, creado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) en el 2013, como parte de una herramienta tecnológica que contribuye con conocimiento experto, al aumento de la capacidad local de tomar decisiones encaminadas a mejorar la adaptación de los sistemas productivos al cambio y la variabilidad climática. Ésta herramienta se concibió como una plataforma de aprendizaje con enfoque de agricultura climáticamente inteligente, compuesta por tres módulos: el módulo A ó “SE-MAPA Estudiemos el territorio”, contiene los resultados más relevantes del proyecto MAPA, con el objetivo de fortalecer la capacidad técnica de los asistentes técnicos; el módulo B ó “Cálculo de Agua - Rendimiento”, permite de manera pedagógica la estimación de las tendencias de agua - rendimiento en cultivos como: tomate, papa, plátano, cacao, maíz y frijol, entre otros, utilizando datos climáticos y suelos, propios o los contenidos de manera demostrativa de algunas estaciones meteorológicas a lo largo del territorio nacional, en años de clima contrastante (periodos El Niño, La Niña y neutralidad); el módulo C ó “Glosario Especializado”, contiene un catálogo de expresiones ampliamente utilizado en el esquema del proyecto MAPA (Agrosavia, 2021).

- **PRODUCTO 5.** Webinar del taller de arranque del proyecto.



Se contó con la participación de 87 personas, de nueve países diferentes. Los participantes fueron productores, extensionistas, académicos (Docentes, estudiantes, instructores, aprendices), entre otros. En total participaron 29 instituciones diferentes entre las cuales se puede destacar al Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-INTA, APIGRANJA, Ministerio de Agricultura de República Dominicana, Bananotecnia, UTESA, Alcaldía de Zapayán, Asociación de pequeños productores la Santa Cruz, Fairtrasa Peru S.A., Centro empresarial tecnológico agroindustrial pecuario y turístico Sena, Agroexport, Cooagronevada, CI bananasant S.A.S, entre otras.

Simultáneamente, el evento se transmitió por YouTube, en donde se contó con la participación de 49 asistentes en el momento de la transmisión. En esta última plataforma, hasta el 6 de julio de 2021, se han realizado 570 reproducciones o vistas, y en la red social Facebook, donde también se divulgó el evento, se cuenta con 19 reacciones y se ha compartido 2 veces.

Actividad 1.4. Estudio para el diseño de la versión inicial de la aplicación

- **PRODUCTO 6.** Monografía de diseño técnico de la aplicación.

En este producto se detalla cada uno de los algoritmos que son necesarios para el aplicativo funcione. Vale la pena resaltar que los seis productos del componente 1 fueron entregados a SAT de Fontagro. El sistema fue diseñado de tal manera que requiere mínima intervención humana. De manera general, el aplicativo funciona dado que se extraen automáticamente datos climáticos de los servidores de las estaciones meteorológicas. Estos se almacenan en una base de datos propia en la nube; se realiza un pre-procesamiento de estos datos; en el servidor, se ejecutan los cálculos de los indicadores; y finalmente se provee información al usuario a través de un dispositivo informático. Detrás del aplicativo, existen muchos algoritmos que hacen posible su funcionamiento, todos ellos fueron construidos bajo el framework Flask de Python. Flask es un módulo de Python que permite desarrollar aplicaciones web de manera intuitiva.

COMPONENTE 2. DESARROLLAR UN ESTUDIO PARA LA VERSIÓN DEMO, CON FUNCIONALIDADES GENERALES.

Actividad 2.2. Desarrollo de un estudio para la versión Demo de la aplicación

- **PRODUCTO 7.** Manual operativo de la aplicación en su versión Demo.

Este producto reportó como resultado el manual de la versión Demo 1.0, que guía al usuario en el uso de esta versión.

Actividad 2.3. Estudio de prueba de la aplicación Demo en campos de productores.

- **PRODUCTO 8.** Talleres de capacitación realizados para mostrar el manejo de la aplicación a los productores en las zonas de prueba.

Se realizaron 13 talleres presenciales (seis en Colombia, tres en República Dominicana y cuatro en Perú), con el fin de presentar la versión Demo 1.0 del aplicativo a productores, técnicos y directivos de asociaciones o cooperativas de banano y plátano. Los objetivos específicos perseguidos por cada uno de los talleres realizados fueron:

- Introducir el proyecto “°AHOra: Aplicativo para productores familiares de Musáceas”.
- Dar a conocer la importancia de los registros climáticos en la productividad del banano.
- Presentar las características del Aplicativo °AHOra, en su versión Demo.

Recibir sugerencias y comentarios sobre la versión Demo del aplicativo, de parte de los potenciales



usuarios, para realizar ajustes que permitan llegar a la versión pro del aplicativo.

- **PRODUCTO 9.** Encuestas realizadas sobre la modalidad en que productores y técnicos integran la versión Demo en el análisis del manejo de sus campos de banano.

Una vez realizada la encuesta a los 77 participantes seleccionados (Colombia 25 personas, República Dominicana 32 participantes y Perú 20 encuestados), para hacer uso de la versión Demo 2.0 de la App °AHOra, se tabularon los resultados y se graficaron con el fin de identificar la percepción de los usuarios de la aplicación °AHOra. A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada una de las preguntas realizadas:

FUNCIÓN 1: TASA POTENCIAL DE EMISIÓN DE HOJAS

Dado que los productores de musáceas no acostumbran a medir la tasa de emisión de hojas de las plantas como un indicativo del buen estado de desarrollo del cultivo y como un factor clave para el llenado del racimo, el proyecto °AHOra desarrolló esta primera función. La aplicación permite conocer la tasa de emisión de hojas en los meses cercanos a la floración, lo cual está sujeto a la fecha de consulta del usuario. Este dato le indica al productor si tendrá o no un buen llenado del racimo. Si la tasa de emisión de hojas es baja, deberá tomar la decisión informada de hacer mejor manejo del sistema productivo, mediante la implementación de prácticas culturales, manejo eficiente de la fertilización integrada, manejo integrado de plagas y enfermedades, entre otros.

A los productores seleccionados para ensayar la versión Demo 2.0 del aplicativo se les hizo tres preguntas: 1) ¿Es clara la información brindada sobre el potencial de emisión hojas?

2) ¿Los resultados son de utilidad para usted?, y 3) ¿Seguirá utilizando la aplicación para la estimación de la tasa potencial de emisión hojas? Se observó que en general las respuestas para las tres preguntas están concentradas en el nivel 3 y 4, es decir, los usuarios están totalmente de acuerdo con que la información que se brinda en esta función es clara y de utilidad, y seguirán usando esta función de la aplicación.

FUNCIÓN 2: PERIODO DE FLORACIÓN A COSECHA

En los cultivos de banano y plátano, se acostumbra a realizar la práctica de encintado, la cual consiste en colocar una cinta de diferente color cada semana a las bellotas enfundadas, con el objetivo de determinar la edad del fruto y el momento oportuno de cosecha. No obstante, ocurren dos situaciones en campo:

No se verifica si el tiempo que transcurrió para cosechar el racimo, fue el óptimo.

No se sabe, con cierto grado de seguridad, la fecha exacta en que se deben cosechar los racimos, de acuerdo con las condiciones meteorológicas que se pueden presentar a lo largo del ciclo del cultivo.

Con el fin de responder a las situaciones anteriormente mencionadas, la segunda función del aplicativo se divide en dos ecuaciones. A continuación, se presentan los resultados de la percepción de los usuarios que hicieron uso de estas:

FUNCIÓN 2.1: FECHA APROXIMADA EN QUE OCURRIÓ LA FLORACIÓN

La App estima la fecha en que ocurrió la floración de un ciclo de cultivo anterior, teniendo en cuenta la acumulación de grados día (GD). Esta información permite corroborar el tiempo aproximado (número de semanas) que se tardó el racimo en alcanzar el grado de madurez aceptable por el mercado. La App calcula la fecha aproximada en que sucedió la floración, a partir de la fecha de cosecha que es ingresada por el usuario. Así, si se tardó más tiempo del estimado por la App, indica que hay un problema en el manejo del cultivo, el cual se debe identificar y corregir. Lo ideal es que el tiempo real sea menor o igual del reportado por la App.

Para esta función se realizaron cinco preguntas. En la primera pregunta, relacionada con el dato que el usuario debe ingresar, es decir la fecha en que cosechó, se observa que, para el caso de República Dominicana y Colombia, 84 % de los encuestados lleva muy frecuentemente este registro, mientras que en el caso de Perú es 50% de los encuestados.

En cuanto a la percepción de la utilidad de esta función (conocer la fecha en que se dio la floración), se observa que el 100%, 84% y 65% de los participantes de Colombia, República Dominicana y Perú, respectivamente, consideran muy útil esta información. Respecto a la claridad de la información que reporta esta función, 96% de los usuarios de Colombia, 81% de República Dominicana y 60% de Perú, considera que es totalmente claro.

Al comparar el dato reportado por la App con la fecha real en que se dio la floración, el 84% de los usuarios colombianos aseguró que se ajusta perfectamente, mientras que para el caso de República Dominicana fue el 59%. En Perú se observó que 35% de los usuarios considera que se ajusta totalmente, 50% opina que se ajusta relativamente bien, y 15% asegura que se ajusta medianamente.

Finalmente, frente a la pregunta de si seguirá utilizando la aplicación para estimar la fecha aproximada en que se dio la floración, se observa que los usuarios aseguran que la continuarán usando (100% de los usuarios colombianos, 84% de los usuarios de República Dominicana y 75% de los usuarios de Perú).

FUNCIÓN 2.2: FECHA APROXIMADA EN QUE SE DEBE COSECHAR

La App estima el momento adecuado en que se deberá cosechar el racimo, teniendo en cuenta los grados día acumulados (GD) por la planta, desde el momento en que se dio la floración (fecha informada por el usuario). Esta información es uno de los factores que contribuyen a asegurar la calidad del fruto al momento de la cosecha.

La primera pregunta realizada fue si se lleva registro de la fecha floración, para lo cual se observó que 100% de los encuestados en Colombia asegura que siempre o muy frecuentemente lo realiza. En el caso de Perú, 60% lo hace muy frecuentemente, 25% casi siempre, y 15% algunas veces. En República Dominicana 81% de los participantes toma siempre el registro de la fecha de floración, 9% casi siempre, y 9% nunca.

Para el 100%, 84% y 75% de los participantes, en Colombia, República Dominicana y Perú, respectivamente, esta función es muy útil. En cuanto a la claridad de la información que reporta esta función sobre la semana óptima en que se debe cosechar, se encontró que para todos es claro o totalmente claro.

Sobre qué tanto se ajusta la información estimada por la APP a la fecha real de cosecha, en República Dominicana, Colombia y Perú, se encontró que para 56%, 56% y 45%, se ajusta muy bien, y para el 44%, 44% y 35%, respectivamente, se ajusta bien. No obstante, para un 15% de los participantes en Perú se ajusta medianamente bien y para el 5% no se ajusta.

Finalmente, el 100% de los encuestados colombianos dijo que seguirá siempre utilizando la aplicación. En República Dominicana el 84% la continuará usando siempre y 16% casi siempre o frecuentemente. Para Perú, 90% manifiesta que usará la App frecuentemente y 10% algunas veces.

FUNCIÓN 3: PESO POTENCIAL DE RACIMO

La tercera función de la aplicación, al igual que la segunda función, se subdivide en dos cálculos, cuyos fines son: 1) verificar el peso alcanzado, y 2) proyectar la productividad del cultivo. No obstante, cabe aclarar que la segunda funcionalidad no está habilitada o disponible para la versión de la App de República Dominicana.

FUNCIÓN 3.1: CON EL FIN DE VERIFICAR EL PESO ALCANZADO

La App estima el peso del racimo y el rendimiento, que se debió alcanzar de acuerdo con las fluctuaciones en algunas variables meteorológicas (es un dato de referencia de lo que se habría llegado a obtener). Esta verificación de los pesos de los racimos obtenidos y del rendimiento, se debe hacer mediante una comparación entre el dato real y el calculado por el aplicativo. Así, si se alcanzó un peso de racimo menor al indicado por la App, señala que hay un problema en el manejo del cultivo, el cual se debe identificar y solucionar, por ejemplo, fertilización, riego, sanidad, etc. Lo ideal es obtener un peso de racimo igual o superior, del potencial que indica la App.

Los encuestados reportaron que la información brindada es muy clara (100% de los encuestados en Colombia, 81% en República Dominicana y 60% en Perú) y útil (100% de los encuestados en Colombia, 94% en República Dominicana y 80% en Perú).

En cuanto al ajuste del dato que reporta la App con respecto al dato real del peso del racimo de la cosecha anterior, se observa diversidad en las respuestas: En Colombia 84% considera que se ajusta totalmente, el 12% considera que frecuentemente se ajusta y el 4% que ocasionalmente se ajusta. En República Dominicana 25% opina que tiene un ajuste excelente, 66% que se ajusta bien y 9% que el ajuste es regular. Por último, en Perú el 35%, 40%, 20% y 5%, respondió respectivamente que siempre se ajusta, casi siempre, algunas veces y nunca.

En cuanto a la pregunta de si seguirá utilizando la aplicación para estimar el peso potencial del racimo con el fin de verificar el rendimiento del cultivo, se encontró que el 100% de los encuestados colombianos, el 84% de los de



Republica Dominicana y el 85% de Perú, aseguran que continuarán empleando la aplicación muy frecuentemente.

FUNCIÓN 3.2: ESTIMACIÓN DEL PESO POTENCIAL DEL RACIMO Y DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO

La función 3.2 realiza una proyección del peso del racimo por planta y el volumen de fruta a cosechar por hectárea, teniendo en cuenta la incidencia de algunas variables meteorológicas. Esta información es relevante dado que se desconoce el peso estimado que va a tener el racimo al finalizar el ciclo de cultivo, lo cual está sujeto, entre otras cosas, a las condiciones meteorológicas que se pueden presentar a lo largo del ciclo del cultivo.

Como se mencionó anteriormente esta función solo está disponible en las versiones de la App de Colombia y Perú. En estos dos países se halló que los encuestados consideran muy útil y clara la información que se reporta. En cuanto al ajuste del dato reportado por la App frente a la realidad, las opiniones están entre que es bueno y muy bueno. Finalmente, se les preguntó a los participantes si seguirían utilizando la aplicación, para lo cual el 100% y 90%, de los encuestados de Colombia y Perú, respetivamente, dijo que continuarían haciendo un uso muy frecuente para estimar el peso futuro del racimo y el rendimiento del cultivo.

FUNCIÓN 4: DEMANDA DE NUTRIENTES

Esta función de la aplicación permite determinar la cantidad de nutrientes extraídos por el racimo y la cantidad de fertilizantes necesarios a reponer en la práctica de la fertilización. Se realizaron tres preguntas: 1) ¿Es clara la información brindada acerca de la cantidad de nutrientes a reponer o aplicar?, 2) ¿Qué tan útil es para usted saber la cantidad de nutrientes a reponer o aplicar?, y

3) ¿Seguirá utilizando la aplicación para cuantificar la cantidad de nutrientes a reponer o aplicar?

La mayoría de los encuestados aseguraron que la información brindada es clara (96%, 95% y 75% de los encuestados en Colombia, República Dominicana y Perú, respectivamente), y un porcentaje reducido considera que la información es poco clara (5% en Perú y 3% en República Dominicana). En cuanto a la utilidad de la información reportada, el 100% en Colombia, 88% en República Dominicana y el 60% en Perú, considera que es muy útil.

Finalmente, más del 80% de los encuestados en todos los países dijo que continuará utilizando esta función de la aplicación.

FUNCIÓN 5: DEMANDA DE AGUA Y RIEGO

Un beneficio adicional de la App es la identificación de necesidades hídricas del cultivo, con el fin de hacer un manejo eficiente del recurso hídrico. El aplicativo da una referencia de cuánta agua se debe reponer, con base a un tipo de suelo y variables como evaporación, etc.

Las opiniones varían desde que es poco clara la información reportada en esta función, hasta que es totalmente claro, lo cual indica la importancia de realizar algunos ajustes, de tal manera que pueda ser comprendida por todos los usuarios. En cuanto a la utilidad, la mayoría de los encuestados no dudaron en responder que es muy útil, al igual que al afirmar que continuarían usando esta función muy frecuentemente.

CONSIDERACIONES GENERALES DEL APLICATIVO

Además de las preguntas realizadas por cada una de las funciones del aplicativo, se realizaron cinco preguntas adicionales tendientes a determinar la percepción general de la aplicación.

En cuanto a la facilidad de navegación por las diferentes funciones de la App, los usuarios dieron una calificación entre cuatro y cinco, lo cual indica que es sencillo o muy sencillo realizarlo.



El tamaño de la letra le pareció muy adecuado al 100% de los usuarios colombianos. Por otro lado, los participantes de República Dominicana y Perú dieron calificaciones de “Regular” (6% y 10%, respectivamente), “Bien” (25% y 45%, respectivamente) y “Excelente” (69% y 45%, respectivamente). El lenguaje o los términos empleados en la aplicación fueron de fácil o muy fácil comprensión para los usuarios de los tres países.

La impresión general de los usuarios acerca de la utilidad de la aplicación fue buena, dado que el 100%, 85% y 84%, de los usuarios de Colombia, Perú y República Dominicana, opinaron que la App es muy útil. La disposición de los participantes a continuar usando la aplicación también fue alta, 100 % en Colombia, 94% en República Dominicana y 95% en Perú.

- **PRODUCTO 10.** Base de datos de validación de cálculos, enfocada en indicadores de productividad del banano.

COLOMBIA

Durante el periodo de evaluación (15 semanas entre 23 marzo y 6 de julio) el número de hojas que emitió la planta in situ para la zona bananera del Magdalena se ajustó con la estimación proyectada por la aplicación °AHoRa. Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre el valor real cuantificado en campo y el valor estimado para la aplicación, por lo cual el aplicativo está estimando con una buena aproximación la tasa de emisión de las hojas en el cultivo de banano.

Por otra parte, se generó un modelo lineal entre la tasa de emisión foliar y la acumulación de grados día (GD), encontrando una correlación de $r^2=0.99$, y para lo cual, según el modelo propuesto, la tasa de emisión de una hoja se produce cada 118,92 GD, diez grados día mayor a lo propuesto y reportado por (Turner y Lahav, 1983; Turner y Hung, 1983; Allen *et al.* 1988).

La tasa potencial de emisión de hojas real en promedio, en el periodo evaluado, fue de una hoja cada 6,96 días, mientras la estimada con la aplicación fue de una hoja cada 7,44 días.

En la región del Magdalena, la temperatura promedio alcanza rangos entre 25 y 30 °C, con valores en algunas épocas del año que pueden retrasar el crecimiento vegetativo debido a temperaturas superiores a 35 °C. La acumulación de grados día mínima presentada entre octubre de 2021 y septiembre de 2022 fue de 11,95 GD, presentada en el mes de octubre de 2021, mes de mayores precipitaciones y menores temperaturas en el departamento del Magdalena, por lo que la tasa de emisión foliar se reduce. Por otra parte, la mayor acumulación de GD en el año se presentó en el mes de abril de 2022 con 16,33 GD y mayo con 16,14 GD, meses donde se presentan las temperaturas promedio más altas del año (29,22°C abril y 28,57°C en mayo). Se encontró que luego de acumulados 1538 GD en 105 días, no se presentaron diferencias significativas entre la tasa potencial de hojas cuantificada en las seis parcelas evaluadas ($p>0,05$).

REPÚBLICA DOMINICANA

La suma de los grados día acumulados durante 14 días se dividió entre 108 GD para generar la emisión foliar esperada. Los valores calculados para dos estaciones, Montecristi y Amina, para las dos primeras semanas de cada mes de julio de 2021 a junio de 2022 inician en cerca de 2 hojas para la temporada más calurosa de días largos, desciende a 1,4 en la temporada fresca de días cortos, y vuelve a subir 2,1 hojas para la temporada más calurosa de días largos con una diferencia de 0,2 hojas entre las dos estaciones .

Una comparación de la emisión de hojas contadas durante tres períodos continuos, de 14 de marzo a mayo de 2022, con el potencial calculado indicó que los campos estaban entre 1 % y 32% por debajo del crecimiento potencial. Los recuentos de 40 períodos de 28 días generados mediante la suma de períodos sucesivos de 14 días



estuvieron entre 2,4 % y 22 % por debajo del potencial. Para los períodos de 14 días, 9 de 60 mediciones estuvieron por encima del potencial calculado, mientras que solo un campo de 40 estuvo por encima del potencial calculado para los períodos de 28 días. Utilizando el conteo completo de 6 semanas, los campos estaban entre 3,5 y 18 % por debajo del potencial calculado y solo un campo arrojó un valor contado más alto que el calculado.

Los productores participantes dependen del riego por inundación con intervalos de una a dos semanas y pueden aplicar agua en exceso para compensar el largo intervalo entre riegos sucesivos y la posibilidad de falla del canal, lo que resulta en suelos que fluctúan entre el exceso y la escasez de agua en cada intervalo de riego. La mayor frecuencia de conteos por encima del potencial calculado para el período de 14 días también sugiere el uso de dos conteos sucesivos de 14 días. Se orientó a los productores y técnicos a seleccionar plantas individuales en situaciones contrastantes dentro del campo para proporcionar información sobre las posibles causas de las tasas diferenciales de emisión de hojas, que no se exploran aquí. Los conteos de campo de las emisiones de hojas para plantas individuales para el período de 14 días variaron entre 1-2 hojas (calculado 1,6 - 1,8), para el período de 28 días 2,4 - 3,8 hojas (calculado 3,2 - 3,5) y para el período de 42 días 4 - 5,6 hojas (Calculado 4,9 - 5,3).

PERÚ

La caracterización del potencial de emisión de hojas registrado cada 14 días desde el mes de agosto del 2021 al mes de julio del 2022 indica una variación de 1,1 hojas, incrementándose hasta 1,8 hojas en el mes de marzo y un descenso hacia los siguientes meses, registrándose 1,1 en el mes de julio.

Una comparación de la Tasa potencial y real de Emisión foliar a los 14 días terminando el 22 de abril, muestra que, de todos los registros de la tasa de emisión foliar real, solo hay un registro por encima de la tasa potencial.

Los conteos en campo de las emisiones de hojas para plantas individuales para el período de 14 días variaron entre 1,0, 1,2 y 1,4, (calculado 1,4 y 1,6) haciendo un promedio de 1,24 hojas.

Es importante indicar que para el periodo de estudio se contó con los datos emitidos por la estación agrometeorológica ubicada en la provincia de Morropón, y los campos de evaluación se ubicaron en la provincia de Sullana. Es necesario una siguiente fase de evaluación en campo y los registros climáticos de una estación agrometeorológica ubicada en el ámbito de los campos a evaluar. Para ello se ha previsto implementar e interconectar al Aplicativo la Estación Agrometeorológica del INIA.

COLOMBIA

La fecha óptima de cosecha ha sido estimada en función de la acumulación de 900 GD por la fruta desde el inicio de la floración y hasta que se complete este acumulado. Las fincas evaluadas manejan fecha de cosecha en función de la semana y calibre de la fruta, siempre realizando esta labor entre semana 9 y máximo semana 12. Teniendo en cuenta la metodología de cosecha en la región de evaluación para el periodo entre enero de 2021 y septiembre de 2022, la fruta fue cosechada en diferentes grados de maduración o acumulación de GD, en función de la semana de cosecha y la época del año, por ejemplo para la semana uno del año 2021 la fruta cosechada en 9 semanas alcanzó 878,94 GD acumulados desde la floración, mientras que si se cosechó en la semana 12 alcanzó 1179,34 GD acumulados cifra en donde es muy probable que la fruta haya presentado sobre madurez fisiológica.

En las primeras 18 semanas del año 2021, es decir entre enero y abril se cosechó entre 43,97% a 80,37% de la fruta en la semana 12 después del encintado, y entre 17,21% y 49,13% en semana 11 después del encintado. Posteriormente, entre la semana 19 y 52 del año 2021 más del 60% de la fruta se cosechó en semana 10 después del encintado, mientras que entre 13,58% y 32,42% se cosechó en la semana 9 después del encintado. Para el año 2022 la distribución de la semana de cosecha varió respecto al año 2021, siendo cosechada principalmente la



fruta entre semana 9 y 10 después del encintado (entre 33,41% y 60,72%).

Lo anterior varía de lo reportado para otra región productora de banano en Colombia, Urabá- Antioqueño, donde los cultivares (cvs.) Valery y Gran enano son los más sembrados. Estos cultivares presentan un crecimiento de curva sigmoidea, sin embargo, el desarrollo del racimo se inicia con la diferenciación floral del meristemo apical, con una fase logarítmica corta y estrecha, terminando con la emisión de la bacota, en el cv. Valery esta fase es de 75 días (entre 116 y 191 DDS), mientras que en el cv. Gran Enano es de 57 días (entre 116 y 173 DDS). El inicio de la fase lineal, donde el cambio en la pendiente es mínimo, está determinado por la acumulación de materia seca. La pendiente de la curva en el cv. Valery muestra incremento lento entre 116 y 220 DDS, con posterior aumento rápido hasta la cosecha (255 DDS). Mientras que en el cv. Gran Enano el crecimiento del racimo es lento entre 116 y 152 DDS, y más acelerado y progresivo entre 173 y 220 DDS, hasta el momento de la cosecha (235 DDS) (Martínez y Cayón, 2011).

REPÚBLICA DOMINICANA

El período desde la floración hasta la cosecha del racimo basado en la acumulación de 900 GD varía para Amina y Montecristi de 8,1 a 11,3 semanas, desde la temporada de sol alto hasta la de sol bajo. Montecristi tiene media semana a una semana completa con período más corto dependiendo de la temporada. El valor calculado con base en la fecha de cosecha se contrastó con el promedio ponderado de la edad del racimo en base al número de racimos por cada color de bandera y la edad del racimo correspondiente en semanas.

El personal de las asociaciones de comercialización lleva a cabo una rigurosa rutina semanal con los productores y sus campos para garantizar que solo se procesen las bananas del calibre y grado de madurez especificados. No es sorprendente que los datos de campo y el potencial calculado no difieran mucho con el 83 % de las cosechas dentro del 6 % del potencial calculado y el 17 % restante cosechado antes del límite estimado de 900 grados por día. Dada la extrema vigilancia ejercida por las asociaciones de marketing sobre este punto, es posible que se necesiten otros datos para evaluar la práctica de campo en comparación con el potencial. El porcentaje de racimos que no fueron procesados, aunque hayan sido marcados, por ejemplo, podría indicar posibles condiciones de crecimiento subóptimas.

Para 60 colores de bandera en las 20 fincas, nueve tenían del 10 al 20 % de racimos con bandera que quedaban en el campo, 18 del 5 al 10 % y el resto mostraba menos del 5 % de racimos con bandera que no fueron procesados (datos no mostrados). Los racimos que se rechazan debido a la sobremadurez justo antes del desmantelamiento también pueden proporcionar información adicional para un análisis de factores para mejorar la eficiencia utilizando datos meteorológicos. La aplicación también ofrece un cálculo de la fecha de cosecha proyectada en función de la fecha de marcado, lo que requiere pruebas de campo adicionales y calibración de la temperatura adecuada para su uso en la fecha de cosecha proyectada.

PERÚ

El período desde la floración hasta la cosecha del racimo basado en este cálculo corresponde a la estación Agrometeorológica de Buenos Aires, el potencial registrado fluctúa desde 10 a 14 semanas.

El valor calculado con base en la fecha de cosecha se contrastó con el promedio ponderado de la edad del racimo con base en el número de racimos por cada color de cinta y la edad del racimo correspondiente en semanas. El promedio del número de semana fue de 9,8 semanas y el real fue de 11,2. Al realizar la comparación el número de semanas de floración a cosecha real superó el promedio potencial. El número mínimo de semanas potencial fue de 9,7 y el real fue de 10,4. El máximo potencial fue de 9,9 y el real fue de 11,75.

COLOMBIA

El peso del racimo cuantificado *in situ* en las seis parcelas evaluadas comparado con el peso estimado con la aplicación °AHOra no presentó diferencias significativas para ninguna de la semana de cosecha evaluadas (Semana 10, 11 y 12).

Si bien no existen diferencias significativas estadísticamente, si existe una diferencia biológica entre el peso real vs peso estimado con la aplicación, lo cual está influenciado por el manejo agronómico realizado en la finca o parcelas. Es importante resaltar que la aplicación es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones y permite al productor proyectar indicadores de cultivo en función del comportamiento climático predisponente.

La correlación en función de la semana de cosecha permite apreciar por ejemplo para la semana 10 después del encintado un $R^2 = 0,6523$ entre el peso del racimo *in situ* vs peso del racimo estimado con la aplicación °AHOra, $R^2 = 0,7344$ para la semana 11 después del encintado y $R^2 = 0,7569$ para la semana 12 después del encintado.

El rendimiento en biomasa está en función de la eficiencia de conversión de radiación fotosintéticamente activa interceptada en fotoasimilados y varía dependiendo de las condiciones de manejo agronómico en que se cultiva una planta.

En el cultivo, se han utilizado dos enfoques para analizar la respuesta de los bananos a la radiación solar entrante. El primer enfoque es el efecto del sombreado. Es sensato investigar esto porque el aumento de la densidad de las plantas reduce la cantidad de luz solar disponible por planta y, en los jardines, los plátanos se pueden cultivar como sotobosque. Turner (1998) resumió los hallazgos de los experimentos de sombreado y estos muestran que, en sombra profunda, el aumento en el rendimiento es proporcional a la mayor cantidad de luz recibida.

A niveles más altos de radiación, otros factores comienzan a limitar el rendimiento y, por lo tanto, no hay más respuesta al aumento de la radiación. El segundo enfoque es el propuesto por Monteith (1981) donde, para las plantas en general, la cantidad de crecimiento es proporcional a la radiación interceptada, independientemente de la cantidad de radiación entrante. Este enfoque ha sido ampliamente aceptado entre los fisiólogos de cultivos y en los bananos se ha utilizado para estimar la demanda estacional de nitrógeno (Turner, 1990) y la productividad de los bananos en una variedad de entornos (Turner, 1998).

La ecuación de Monteith se ha modificado para los bananos para incluir los efectos de la temperatura y el vigor de la planta, expresados como el tiempo de ciclo de los cultivos de retoños (Turner, 1994, 1998). Se necesitan datos para determinar los coeficientes, especialmente la eficiencia del uso de la radiación. Es posible utilizar este enfoque para estimar el rendimiento potencial de un sitio (Turner, 1998) y, a pesar de la cantidad de supuestos, el enfoque de Monteith brinda información sobre el efecto del cultivo protegido en el rendimiento del banano. En esa situación hay un aumento en la productividad (20-30%) pero una reducción en la cantidad de radiación solar (20%) debajo de la cubierta protectora (Galán Saucó et al., 1992).

La reducción de la radiación entrante reduciría el rendimiento en algunas fincas de la región de la costa colombiana, motivado a que a pesar de ser regiones que comparten características climáticas, la radiación es muy diferente en las fincas evaluadas. La radiación solar en la región es muy variable en el año con valores de 50-110 Mj/m^2 , siendo muy superior en diferentes regiones de la costa colombiana, lo cual podría tener implicación en las variables asociadas a la fenología, en términos de acumulación de calor. El modelo de Monteith explica la respuesta observada porque el cultivo protegido aumenta el índice de área foliar- LAI y cambia el coeficiente de extinción de tal manera que las plantas interceptan más radiación entrante que sus contrapartes que crecen en una plantación abierta (Turner, 1998b). Las plantas al aire libre no tienen suficiente área foliar para interceptar tanta radiación como sus contrapartes cubiertas, y la disposición de sus hojas magnifica este efecto.

REPÚBLICA DOMINICANA

En la aplicación °AHOra, la radiación solar diaria registrada por las estaciones meteorológicas se convierte en potencial de rendimiento del banano como peso potencial del racimo. Después de la floración, la emisión de hojas y raíces se detiene y el principal sumidero para la fotosíntesis es el racimo. La radiación incidente (I_0) se convierte en radiación interceptada (I) mediante la ecuación de Beer-Lambert: $I=I_0(1-e^{-KL})$ con un coeficiente de extinción (K) de 0,7 (Nyombi et al., 2009, Stevens et al., 2020) y un índice de área foliar (L) para banano de 3.5. Cada MJ/m^2 interceptado se convierte en biomasa de racimo de banano a razón de $1,5 g/MJ/m^2$ multiplicado por los metros cuadrados ocupados por un tallo de banano en función de la densidad de población de la estera. Una densidad de 2000 esteras se calcula a $5 m^2/planta$. El peso fresco potencial del racimo (25% de materia seca) para Amina y Montecristi varía de 23.1 a 35 kg desde la temporada de día corto hasta la de día largo.

Los 400 racimos pesados en dos fechas diferentes en las 20 fincas de prueba oscilaron entre 60- 70% por debajo del potencial a <10% por debajo del potencial. Siete racimos excedieron el potencial calculado. Cinco fincas tenían los 35 racimos superiores al 80% del potencial calculado.

PERÚ

En el registro del peso potencial se observa que el peso promedio mensual de los racimos varió desde 23 a 45 kg. De acuerdo con los 75 racimos registrados, se observa que cuando se hace la comparación de los registros reales y potenciales, se observa que 55% de racimos pesados no superan los 20 kg. El 45% de racimos está por encima de 20 kg. Siendo el peso mínimo 10,94 kg y el máximo registrado fue de 44 kg. El peso potencial mínimo del racimo fue de 25,7 y el máximo fue de 32 kg.

Los datos registrados en campo y los que genera el aplicativo, indican que casi la totalidad de los datos tomados en campo no superaron el peso potencial, solo se observa que el 6,5 % registra un peso mínimo de 33 kg y 44 kg el peso real, superando al peso potencial. Los casos de racimos por encima del cálculo de potencial se podrían deber a una menor población de plantas a nivel local o en el borde con mayor acceso a radiación combinado con cosecha en una semana más avanzado.

COLOMBIA

El plan de fertilización formulado por la aplicación °AHOra en función de la extracción de nutrientes por tonelada cosechada. Las cantidades de nutrientes a reponer al suelo, mediante la práctica de la fertilización, cambian en función de la productividad, siendo mayor las necesidades a mayor número de toneladas cosechadas.

La implementación del plan de fertilización propuesto por la aplicación en promedio requiere de la inversión económica de $\$5.000.000 ha^{-1}$ para adquisición de las fuentes de fertilizantes.

Se puede apreciar que el plan de fertilización implementado en la actualidad por los productores supera en 46% la dosis para nitrógeno recomendada por la aplicación, supera en 48% la dosis de fósforo, en 61% la dosis de magnesio, en 86% la dosis de azufre, en 93% la dosis de boro y 98% la dosis de Zn, sin embargo, la aplicación de nitrógeno y calcio realizada por los productores se ajusta a las proyecciones realizadas por la aplicación superando en 1% la dosis propuesta por la aplicación para nitrógeno y en 16% la dosis de calcio.

La inversión económica del plan de fertilización es en promedio de $\$4.000.000 ha^{-1}$, que comparados con la recomendación propuesta por la aplicación se podría reducir hasta en un 30%. Es importante resaltar que el proceso de extracción de elementos nutritivos en los frutos depende de varios factores, entre los que se puede mencionar la variedad, clima, suelo, edad de la planta y nivel de rendimiento. Independientemente de los factores antes mencionados, los resultados obtenidos en el proyecto aportan para mejorar la competitividad de la agricultura campesina, familiar y comunitaria, ya que permiten disminuir la aplicación de insumos de síntesis química, con la



consecuente reducción de los costos de producción y aumento de la rentabilidad. Asimismo, la menor aplicación de agroquímicos conduce a mejorar la sostenibilidad y a mejorar la calidad de vida de productores y consumidores.

REPÚBLICA DOMINICANA

La radiación solar diaria también es la base de un cálculo de reposición de nutrientes. La biomasa potencial resultante de la radiación interceptada se calcula a partir de la fecha de la aplicación de fertilizante más reciente para el intervalo normal entre aplicaciones de fertilizante. Se supone que los nutrientes exportados como racimos que deben reemplazarse en las aplicaciones de fertilizantes son el 50% de la biomasa total. Las aplicaciones de nutrientes durante los primeros tres meses de 2022 informadas por las 20 granjas participantes fueron entre un 50 y un 100 % inferiores a la tasa de reemplazo calculada para lograr el rendimiento potencial. Solo 13 fincas aplicaron nutrientes al suelo, de las cuales 8 fincas aplicaron solo sulfato de potasio, 3 fincas compost y 2 fincas tanto sulfato de potasio como compost. Las fincas restantes aplicaron un líquido fermentado anaerobiamente con muy bajo contenido de nutrientes. Estas bajas tasas de aplicación de nutrientes pueden ser parte de la explicación del bajo peso de los racimos. Una extrapolación de las aplicaciones de nutrientes calculadas para aplicaciones trimestrales a una tasa anual indica aproximadamente 300 y 1000 kg/ha de nitrógeno y potasio. Turner (1989) propuso un índice de cosecha del 30% que reduciría las aplicaciones anuales a 180 y 600 kg/ha de N y K, respectivamente.

PERÚ

El nitrógeno potencial se encuentra en valores superiores que el nitrógeno extraído y aplicado, de las cuatro fincas estudiadas, hay una finca en la que el nitrógeno aplicado supera el potencial. En relación con el Potasio extraído y aplicado se mantiene por debajo de lo calculado por el aplicativo. Se considera que se requiere revisar los cálculos del aplicativo a fin de analizar y comparar con los datos registrados en campo.

COLOMBIA

Una vez iniciado el proceso de validación del modelo se pudo identificar por los productores las limitaciones para definir los turnos de riego teniendo en cuenta que la aplicación estaba cuantificando las cantidades de agua que requiere el cultivo en función de un balance hídrico que tiene en cuenta evapotranspiración del cultivo, precipitación, tipo de sistema de riego y coeficiente de cultivo, sin embargo, no tenía en cuenta indicadores importantes del suelo como humedad del suelo antes de iniciar el riego, el riego aplicado por los productores, características del suelo como la densidad aparente y el umbral de humedad en el suelo al cual quieren llegar para garantizar disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas. En ese sentido, al momento de utilizar la aplicación de riego las recomendaciones no eran funcionales porque por ejemplo en la fecha de evaluación en un día cayeron 50 mm de agua en la finca que llevó al suelo a alcanzar más del 90% de humedad, que dependiendo de las características del suelo y el manejo de la finca en cuanto a canales de drenaje el suelo podría perder la humedad a un 20% o menos en 7 días para una finca o 3 días para otra finca, y en este caso la aplicación subestima o sobreestima las cantidades de agua requeridas por el cultivo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un ajuste al modelo incorporando los indicadores sugeridos por los usuarios, es decir, densidad aparente del suelo y humedad del suelo antes de regar, tomando además como indicador de referencia para alcanzar 70% de humedad en el suelo y 20% de humedad del suelo como la mínima que debe permanecer el suelo.

Teniendo en cuenta que en la actualidad en las regiones productoras se están presentando eventos climáticos atípicos (Exceso de precipitación) no ha sido necesario la implementación de riego en las fincas seleccionadas, por lo cual la validación del modelo ajustado se ejecutará en la época de verano, es decir, diciembre y enero.

REPÚBLICA DOMINICANA

El indicador final disponible a través de °AHOra, uso de agua de cultivo y cantidades de riego, utiliza la evapotranspiración potencial calculada por estaciones meteorológicas automatizadas basadas en variables medidas de radiación, velocidad del viento y humedad relativa. El agua que se aplicará para cumplir con el uso del cultivo se calcula para el período normal entre riegos en función de la evapotranspiración diaria multiplicada por el coeficiente del cultivo menos la precipitación efectiva que depende de la textura del suelo y la profundidad supuesta de almacenamiento de agua. Los productores no miden rutinariamente el agua aplicada y tampoco la humedad del suelo. Las tarifas de riego se basan en la superficie del terreno y no en el uso real del agua. La aplicación también calcula el tiempo máximo entre riegos asumiendo que el suelo alcanza la capacidad de campo el día del riego.

El uso de agua fácilmente disponible a través de la evapotranspiración diaria específica del cultivo menos la lluvia efectiva proporciona una estimación del tiempo máximo para el siguiente riego que puede compararse fácilmente con la práctica del productor. Durante el período de recopilación de datos de campo, los productores regaron cada una o dos semanas.

Antes de aumentar los precios del combustible, muchos productores también usaban el riego por bomba para complementar el riego programado del canal, pero ahora son reacios a usar sus bombas. El máximo calculado indicó que, durante febrero y marzo, el programa de 14 días aseguró poca escasez de agua, pero en mayo y junio, el intervalo máximo calculado cayó a 10 días. Si bien los productores no controlan el intervalo de riego en su sector, pueden tratar de mejorar la distribución del agua en las parcelas y utilizar prácticas para aumentar la salud del suelo, en particular, la infiltración y la capacidad de retención de agua y evitar que la permanencia de una lámina de agua profunda, el día de cada riego, dañe la viabilidad de las raíces.

PERÚ

La App generó un estimado de la demanda de EVTPo semanal durante el año 2021-2022, sin tendencias por temporada y mostrando una semana en noviembre con un valor de 0. Los registros tomados en campo indican que, en las fincas de los productores, el intervalo entre riegos varía entre 3-4 semanas. La frecuencia de riego está determinada por la programación de la comisión de regantes, no por la demanda hídrica del cultivo. Al recurrir a otros registros para generar un cálculo de turno máximo, se encontró que es casi de un mes en la época de frío, pero de menos de tres semanas en la época de calor.

En una nueva etapa de trabajo es importante contar con una estación meteorológica operando al óptimo y sensores de humedad que permite identificar posibles momentos de condiciones de humedad en el suelo deficitarias.

Actividad 2.4. Estudio para el desarrollo de mejoras de la aplicación Demo y del plan de negocio.

- **PRODUCTO 11.** Manual operativo actualizado de la aplicación en su versión Demo

Como resultado de este producto se obtuvo el manual de la versión Demo 2.0, que guía al usuario en el uso de esta versión.

- **PRODUCTO 12.** Monografía conteniendo la actualización del plan de negocio para la aplicación

En este producto se presentó el contenido de los primeros apartados del plan de negocios, que incluyen:

1. Plan estratégico:

- Misión
- Visión
- Valores corporativos
- Análisis situacional del micro y macro ambiente
- Análisis FODA

- Objetivos estratégicos
 - Estrategia genérica
 - Fuentes de ventajas competitivas
 - Alianzas estratégicas
2. Plan de mercado y marketing
- Área geográfica de mercado
 - Análisis de la demanda
 - Análisis de la oferta
 - Brecha demanda-oferta
 - Estrategias de marketing

- **PRODUCTO 13.** Webinar sobre modificación de la plataforma de cálculos y la aplicación versión Demo, basado en datos de validación

La sesión virtual del 5 de agosto de 2022 se llevó a cabo a través de Microsoft Teams. Los nueve participantes fueron los investigadores y colaboradores que contribuyen al desarrollo del proyecto. Las sesiones presenciales del 22 y 23 de agosto de 2022, se realizaron en las instalaciones del Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- AGROSAVIA, ubicado en Km. 14, vía Mosquera – Bogotá, Colombia. Se contó con la participación de 14 personas (10 presenciales y 4 virtuales) pertenecientes a las cuatro instituciones que ejecutan el proyecto. También se contó con la participación de miembros del Comité Asesor Voluntario Internacional – CAVI. El taller cumplió el objetivo de presentar los datos tomados en campo y compararlos preliminarmente con la información arrojada por la App, con el fin de determinar si es necesario realizar algún ajuste en la plataforma de cálculos.

COMPONENTE 3. PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO DEL APLICATIVO.

Actividad 3.1. Estudio para el desarrollo de la aplicación en su versión Pro

- **PRODUCTO 14.** Manual operativo de la aplicación en su versión Pro.

Como resultado se obtuvo el manual de la versión Pro de cada una versión por país, que guía al usuario en el uso de esta versión.

Actividad 3.2. Presentación oficial de en cada país.

- **PRODUCTO 15.** Taller organizado de lanzamiento del aplicativo en cada país.

En el marco del proyecto °AHOra se realizaron 14 eventos de lanzamiento presenciales (ocho en Colombia, cuatro en República Dominicana y dos en Perú), con el fin de presentar la aplicación

°AHOra a productores, técnicos y directivos de asociaciones o cooperativas de banano y plátano. La realización estos eventos permitió cumplir con el objetivo central del proyecto que es el desarrollo, puesta en funcionamiento y conocimiento de la App °AHOra a un número importante de potenciales usuarios.

Actividad 3.3. Estudio de monitoreo de la experiencia de los usuarios con la aplicación

- **PRODUCTO 16.** Base de datos de la experiencia de usuarios de la aplicación de acuerdo con las pruebas de la versión Demo y Pro.



Durante el desarrollo del proyecto °AHOra se mantuvo una constante interacción con los productores y técnicos presentes en las zonas de influencia de los tres países: los departamentos de Magdalena y La Guajira en Colombia, Valle Occidental en la Línea Noroeste de República Dominicana y el departamento de Piura en Perú. La primera versión, la versión Demo 1.0 del aplicativo, fue socializada en talleres presenciales (seis en Colombia, tres en República Dominicana y cuatro en Perú). Las sugerencias realizadas en estos talleres permitieron mejorar la App y obtener la versión Demo 2.0. Esta versión fue usada en campo por 77 personas seleccionadas entre productores y técnicos (Colombia 25 personas, República Dominicana 32 participantes y Perú 20 personas). También, los investigadores validaron en campo los resultados que arrojaban las ecuaciones planteadas en el aplicativo. Lo anterior, permitió realizar mejoras en la App y obtener finalmente la versión Pro. Esta última versión, como se observó en el apartado de resultados, también fue usada durante un tiempo por 90 participantes, entre técnicos y productores.

En la comparación entre los resultados de la experiencia de los usuarios al usar la versión Demo y la versión Pro, se encontró que:

- La opinión de los usuarios encuestados después del uso de la App versión demo y versión pro fue buena. En ambos casos indicaron que la App es fácil de usar, tiene un lenguaje fácil de comprender, la información que brinda es útil para la toma de decisiones de manejo del cultivo y que están dispuestos a continuar usando la App.
- El 99% del total de las personas que hicieron uso de la App versión Demo indicaron que seguirían usando siempre o casi siempre la App para estimar la **tasa potencial de emisión de hojas**, y después del uso de la App versión Pro este porcentaje fue de 88%. Se observa que el descenso de la opinión se dio particularmente en los usuarios de República Dominicana, en donde 11 personas opinaron que usarían ocasionalmente esta función. En general se observa que los usuarios de los tres países están conformes con esta función, pues les es útil para saber si la plantación está siendo bien mantenida y es un indicativo de si tendrá o no un buen llenado del racimo. Además, a partir de esta información, ellos pueden analizar qué es lo que está pasando y tomar acciones a tiempo.
- Para estimar la **fecha aproximada en que se dio la floración**, el 100% de los usuarios de la versión Demo y el 77% de la versión Pro, indicaron que la usarían siempre o casi siempre. Las opiniones de usar esta función ocasionalmente se dieron en República Dominicana y Perú, representando un 23%, mientras que el 100% de los usuarios de Colombia aseguraron que la usarán siempre. En general, se encuentra que esta función tuvo una buena acogida por parte de los usuarios que la ensayaron.
- El 82% de los usuarios de la versión pro indicaron que usarían siempre o casi siempre la App para estimar la **semana óptima en que se debe cosechar**, mientras que con el uso de la App versión Demo esa opinión la dio el 100% de los usuarios. En Colombia, el 100% de los usuarios estuvieron satisfechos con esta función, en Perú 27 de los 30 usuarios encuestados estuvieron muy conformes, y en República Dominicana 12 usuarios indicaron que usarían ocasionalmente esta función y un usuario que no la usaría. De los tres países, en Colombia y Perú es donde se observa mayor acogida de esta ecuación.
- En la ecuación que estima **el peso potencial del racimo con el fin de verificar el rendimiento del cultivo**, se encontró que el 81% de los usuarios de la versión Pro indicaron que la usarían siempre o casi siempre, en comparación con el 100% de las personas que usaron la versión Demo. En Colombia y Perú los usuarios presentaron una mejor acogida de esta función que en República Dominicana.
- Para estimar el **peso potencial del racimo y la productividad por hectárea**, se encontró que tanto el 100% los usuarios de la versión pro como de la versión Demo, de Colombia y Perú, continuarán usando siempre o casi siempre la App. Esta función no está disponible para República Dominicana.
- Para la tercera función **“demanda de nutrientes”** el 100% de los usuarios de la versión Demo dijeron que la usarían siempre o casi siempre y con la versión Pro esta respuesta la indicaron el 80% de los encuestados. Esta función ha sido muy bien aceptada por todos los productores, ya sea que tengan un sistema de cultivo orgánico o convencional, dado que la App les permite saber cuánto de cada elemento se debe aplicar, por ejemplo,



algunos productores en República Dominicana encontraron que aplican muy poco, y por ello indicaron que van a gestionar la manera de elevar la cantidad de abono que se aplica.

- Para la ecuación “**demanda de agua y riego**” el 77% de los usuarios de la versión Pro indicaron que usarían frecuentemente, casi siempre o siempre esta función, frente al 100% de los usuarios que contestaron lo mismo luego de usar la versión Demo. En Colombia, el 100% de los usuarios estuvieron satisfechos con esta función y en Perú 23 de los 30 usuarios encuestados estuvieron muy conformes. En República Dominicana se observa que hubo un descenso en la opinión de los usuarios, en donde 12 personas opinaron que usarían ocasionalmente esta función y 1 nunca. Para el caso de República Dominicana y Perú esta función presenta algunas restricciones en su uso, dado que los productores dependen de la disponibilidad de agua que haya y del turno de riego que les permitan. Para el caso de Colombia si es válido y en general la percepción de los productores es que la frecuencia de riego del aplicativo es la correcta.

- **PRODUCTO 17.** Monografía de la versión final del plan de negocios.

Se presentó información correspondiente los tres últimos apartados del plan del plan de negocios correspondiente a:

3. Plan operativo

- Servicio que se ofrece - características técnicas
- Proceso productivo
- Requerimientos para su implementación y operatividad
- Uso del aplicativo y mejoras en la gerencia del cultivo
- Localización de las estaciones y del servicio

4. Plan de gestión y de recursos humanos

- Sistema de gobernanza
- Organigrama
- Requerimientos de personal
- Trámites legales

5. Plan económico – financiero

- Inversión
- Financiamiento
- Beneficios
- Flujo de costos
- Evaluación de económica privada y social

Los resultados más relevantes encontrados reflejan que hasta el momento no existe una App de uso libre para productores familiares de musáceas que transforme datos climáticos en información útil y de fácil comprensión, con la cual agricultores y técnicos agropecuarios tomen mejores decisiones frente a las prácticas agronómicas que se realizarán teniendo en cuenta la variabilidad climática, es decir ninguna otra aplicación ofrece los cinco componentes o módulos que incluye el aplicativo °AHOra, por lo anterior, en este producto se plantea realizar arreglos con instituciones o con gobiernos regionales para ampliar el área de registro de datos climáticos y facilitar la continuidad del funcionamiento de la aplicación, en busca de contribuir a la competitividad de los sistemas productivos de plátano y banano, por ser productos de exportación, por los empleos que generan y por hacer parte de la agricultura campesina y familiar en los tres países.

INDICADORES TÉCNICOS

A continuación, se presentan los indicadores de gestión de conocimiento y técnicos alcanzados con el

proyecto a la fecha.

Indicadores de Gestión de Conocimiento y Fortalecimiento de capacidades					
No.	Indicador detalle	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
1	Personas capacitadas virtualmente	Número	0	227	Resultado de las sumatorias de los dos eventos virtuales y tres eventos híbridos realizados en el proyecto °AHoRa.
2	Personas capacitadas presencialmente	Número	0	962	Resultado de las sumatorias de los 25 eventos presenciales realizados: 14 en Colombia, siete en República Dominicana y seis en Perú. Fuente de los datos: las planillas asistencia
3	Total de personas capacitadas	Número	0	1189	Resultado de la sumatoria de personas capacitadas virtual y presencialmente.
4	Mujeres capacitadas	Número	0	354	Resultado de la sumatoria de las mujeres capacitadas en los eventos virtuales y presenciales. Fuente de los datos planillas asistencia
5	Hombres capacitados	Número	0	769	Resultado de la sumatoria de los hombres capacitados en eventos virtuales y presenciales. Fuente de los datos planillas asistencia
6	Personas sin reportar género	Número	0	66	Resultado de la sumatoria de los eventos virtuales y presenciales. Fuente: planillas asistencia
7	Total eventos realizados	Número	0	30	Sumatoria de eventos virtuales, híbridos y presenciales
9	Encuestas aplicadas en talleres de presentación versión demo de aplicación.	Número	0	770	Encuestas realizadas en el marco del desarrollo de diferentes actividades, como: Levantamiento de línea base (210 encuestas- producto 4), capacitaciones sobre el manejo de la App a los productores en las zonas de prueba (393 encuestas - producto 8), experiencia de integración de versión demo (77 encuestas- producto 9) Productos entregados a la STA, y experiencia de integración versión Pro (90 encuestas- producto 16).
10	Línea base	Número	0	3	Información con la cual se construye la nota técnica (producto 4) sobre producción, métodos de monitoreo de comportamiento del cultivo en los tres países y uso de aplicativos similares en el mercado.



11	Notas técnicas	Número	0	2	Entregadas a la STA. Nota técnica sobre plataforma de cálculo (producto 2) y sobre la línea base (producto 4)
12	Monografías	Número	0	4	Entregadas a la STA. Monografía de la formulación del plan de negocio (producto 3), de diseño técnico de la aplicación (producto 6), y de la actualización del plan de negocio para la aplicación (producto 12). En evaluación de pares la versión final del plan de negocios (producto 17).
13	Memoria de taller	Número	0	5	Entregadas a la STA. Memorias de los dos talleres virtuales (Producto 1 y 5), de los talleres presenciales (producto 8), del taller híbrido (producto 13) y de los talleres de lanzamiento del aplicativo en cada país (producto 15)
14	Versiones de la aplicación	Número	0	3	Versión Demo 1.0, versión Demo 2.0 y versión Pro
15	Manuales operativos	Número	0	3	Tres manuales operativos: 1. Versión Demo-1.0 (producto 7), 2. versión Demo actualizada-2.0 (producto 11), y 3. versión Pro (producto 14)
16	Total de personas que conforman el grupo de trabajo del proyecto	Número	0	43	Equipo de investigadores y profesionales que participan activamente en el proyecto en los tres países
17	Mujeres que conforman el grupo de trabajo del proyecto	Número	0	12	Equipo de mujeres investigadoras y profesionales que participan en el proyecto en Colombia, Perú y República Dominicana.
18	Hombres que conforman el grupo de trabajo del proyecto	Número	0	31	Equipo de hombres investigadores y profesionales que participan en el proyecto

HALLAZGOS DESTACADOS

En las diferentes zonas geográficas en las cuales se desarrolló el proyecto °AHOra se puede reportar como hallazgo que la mayoría de productores familiares de musáceas: banano y plátano, no llevan registros digitalizados de los datos tanto climáticos, como del crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo. Algunos registran manualmente información de sus cosechas, peso del racimo, semanas de cosecha, volumen de producción, mientras otros no los registran, sin embargo, tienen en mente valores aproximados de rendimiento y producción.

En la zona de estudio del proyecto °AHOra en Colombia, se evidenciaron diferencias marcadas en varios aspectos de los pequeños productores de los departamentos de Magdalena y de La Guajira, a pesar de que el trabajo en campo fue realizado en fincas productoras de musáceas en dos territorios relativamente cercanos de la Región Caribe Colombiana. Dentro de las diferencias está que en el Magdalena los pequeños productores de banano se encuentran afiliados a cooperativas de bananeros quienes son las encargadas de asistir técnicamente al productor y facilitar la comercialización de la fruta, mientras que en La Guajira los pequeños productores producen plátano y se encuentran organizados en asociaciones de productores, con limitaciones administrativas, pero que son



atendidos técnicamente por la Asociación Hortofrutícola de Colombia ASOHOFRUCOL, la comercialización de la fruta sigue realizándose de forma independiente por parte de los productores.

HISTORIAS EN EL CAMPO

Colombia

Por la presencia institucional de gremios, comercializadoras y cooperativas bananeras en el departamento del Magdalena el Uso de la App podría facilitarse para los productores, pero no es así, ellos en sus fincas no tienen acceso a internet por lo cual el uso de la App debe hacerse en sus casas y con ayuda de sus hijos, ya que la mayoría de estos productores son de la tercera edad y de bajo nivel educativo; mientras que los productores del departamento de La Guajira especialmente la asociación de plataneros COOGRUPADI mostraron niveles de conocimiento más alto probablemente porque el número de productores es menor y es más fácil llegar a ellos directamente, lo cual les facilitó el entendimiento del funcionamiento de la App. Para el caso del acceso a internet en ambos departamentos la señal es débil en zona rural. **2.** Las diferentes versiones de la App fueron socializadas con los productores finca a finca, labor realizada por AGROSAVIA a través del equipo del proyecto. Esto permitió conocer y entender mejor el quehacer del productor de musáceas en la Región Caribe, sus fortalezas y limitaciones para el uso de la herramienta digital. Durante estas labores de campo se conocieron a productores como el señor José Rafael Orozco, de 71 años, productor de banano hace más de 20 años y propietario de la Finca “los Olvidados” ubicada en el corregimiento de Riofrio, Zona bananera, en esta finca se tiene sembrado la variedad de banano Valery en un área de 4.5 hectárea. El señor Orozco menciona que “el aplicativo °AHOra es muy importante y útil porque nos brinda información climática como temperatura, humedad relativa, temperatura y precipitación, información que nos sirve para el manejo del cultivo y tomar decisiones. Es importante resaltar que el reemplazo generacional de los productores de banano en Zona Bananera está garantizado ya que es uno de los cultivos que se comercializa fácilmente lo que lo convierte en un buen negocio y los hijos de los productores aprenden la labor y lo ven como un negocio familiar, esta situación no ocurre comúnmente con otros cultivos en Colombia.

Perú

Durante el desarrollo del proyecto se realizó un intercambio de experiencias con productores, entre las cuales se encuentra la señora Margarita Rodríguez, productora de banano asociada de la Cooperativa APBOSMAM con 52 años, su único hijo Carlos es quien la ayuda y evalúa a trabajadores en el desarrollo de labores a diario en banano. Ella menciona que “como productores luchamos a diario con labores y aplicaciones de insumos, y vemos una debilidad grande en el aspecto de nutrición y que es necesario para la planta, con este aplicativo °AHOra podemos acercarnos a lo que necesita el cultivo como nutrición, ver que nos falta para llegar a un peso proyectado por dicho aplicativo, si logramos usar este aplicativo en los siguientes años llegaremos a mejora productividad en cajas y un mayor peso de racimos”. **2.** Otra historia de campo es la del señor Hipólito Vargas, técnico de la organización de banano COOPAG - Piura. Nació en el Centro poblado Santa Sofía de la provincia de Sullana. Trabaja en una organización de banano como técnico por más de 10 años, él está convencido que recomendar prácticas ayudarán al productor a mejorar productividad. Antes solo se esperaba cosechar sin medir tasa de crecimiento y emisión foliar el cual nos permite un diagnóstico y monitoreo del crecimiento y con la ayuda del aplicativo

°AHOra podemos analizar si la planta está siendo afectada por el clima o es un problema nutricional; también nos permite dar un acompañamiento y sugerir insumos eficientes y evitar que retrase el desarrollo de la planta.

República Dominicana

Durante el trabajo de campo se destacan experiencias positivas como lograr que los productores se familiarizaran con la toma de datos que tradicionalmente no toman, como: peso de racimos y conteo de emisión de hojas. A pesar de su poca experiencia en el uso de Apps mediante dispositivos móviles, los productores lograron aprender a utilizarlo y entender su funcionamiento y utilidad para mejorar el manejo de su cultivo. Durante el proceso, la



mayor dificultad fue la falta de conectividad en la mayoría de las fincas, y en ocasiones la caída del sistema cuando se consultaba el App, por lo que se recurrió al trabajo en salones de la asociación de productores. Un hecho muy positivo, fue lograr transferir el App desde la plataforma de la UDEP a la plataforma SidiAgro del Ministerio de Agricultura, a pesar de los diferentes obstáculos que se tuvieron que superar. Para dar mayor fiabilidad al App, se conformó un comité de pilotaje conformado por varias organizaciones, con funciones definidas, para dar seguimiento al funcionamiento del App luego de finalizado el proyecto.

DISCUSIÓN

En el trópico la temperatura es la variable ambiental con mayor influencia en el crecimiento y desarrollo de los cultivos; esto debido a que las reacciones que intervienen directa o indirectamente en la mayoría de los procesos fisiológicos, bioquímicos y metabólicos, se encuentran fuertemente ligados a la temperatura (Pulido, 2008). La unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo a partir de un punto a otro en su ciclo de vida es denominada comúnmente como “grados días (GD)”, “grados día de desarrollo (GDD)”, “unidades calor (UC) (Díaz-Lopez, 2013) o tiempo fisiológico (Parra – Coronado, 2015). En agronomía su aplicación principalmente radica en la estimación de cuánto tarda un determinado cultivo en alcanzar una etapa fenológica de interés tales como anthesis, floración, fructificación, cosecha, senescencia, etc. (Hoyos et al., 2012); otras aplicaciones han consistido en determinar condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo plagas, fechas de siembra, riego y fertilización de cultivos entre otros (López et al., 2011; Flores-Gallardo et al., 2012; Ferrer et al., 2014; Ramírez et al., 2015; Sifuentes-Ibarra et al., 2015; Tadeo-Robledo et al., 2015).

La validación de la App en las diferentes zonas productoras de banano en Colombia, Perú y Republica Dominicana permite dar confianza a productores y técnicos sobre las proyecciones o indicadores de referencia que se generan en función de las condiciones edafoclimáticas predisponentes para cada región productora. Estos indicadores son insumo esencial para la toma de decisiones apropiadas sobre las practicas agronómicas del cultivo y permite generar un diagnóstico sobre el comportamiento agronómico y salud del sistema productivo. Por ejemplo, bajo condiciones climáticas de Colombia, con el proceso de validación de la aplicación se logró ajustar el modelo para la cuantificación de la tasa potencial de hojas en función de la acumulación de grados día. La tasa potencial de emisión de hojas real en promedio, en el periodo evaluado, fue de una hoja cada 6,96 días, mientras la estimada con el modelo de (Turner y Lahav, 1983; Turner y Hung, 1983; Allen et al. 1988) fue de una hoja cada 7,44 días. Lo anterior es aproximado a lo reportado para otra región productora de banano en Colombia, Urabá-Antioquioqueño, donde Mira et al., (2004) reportaron que, durante la fase vegetativa, la planta generalmente emite entre 35 y 36 hojas, con una frecuencia de una hoja/semana en época de lluvias y entre 0,4 y 0,6 hoja/semana en condiciones de sequía.

En función de lo reportado anteriormente, por medio del uso de la aplicación °AHOra el productor podrá calcular la tasa potencial de hojas de sus cultivos y conocer el estado de la salud de la planta. Por el contrario, para Perú y República Dominicana el modelo propuesto por (Turner y Lahav, 1983; Turner y Hung, 1983; Allen et al. 1988) resultó ser un modelo que se ajusta bien a las condiciones climáticas de estas regiones productoras.

Por otra parte, otro indicador importante que genera la aplicación es la identificación de la fecha optima de cosecha. Esto es de suma importancia para el cultivo de banano, ya que los productores que atienden los mercados de exportación, cosechan con 9 a 12 semanas después de emitida la bacota, y basado principalmente con el calibre del dedo indicador, esto debe ocurrir simultáneamente con el óptimo de maduración, sin embargo, para atender los mercados de Europa y Asia la fruta está cambiando la madurez en los largos transportes que ocurren para atender estos mercados; por lo anterior y basado en las altas temperaturas se requiere la utilización de las variables temperaturas y acumulación de grados día, las cuales tienen el óptimo de madurez cuando se acumulan

900 °C (Ganry 1978).

Además, la aplicación AHoRa, en función de la biomasa y la extracción de nutrientes por la fruta cuantifica la cantidad de nutrientes a aplicar para mantener el crecimiento potencial, ya que la nueva biomasa tiene un contenido de nutrientes que debe absorber. El indicador propuesto es calculado para compensar la salida de nutrientes en racimos cosechados, es decir, se determina la cantidad de nutrientes extraídos por el racimo. Para el caso de **Colombia** la demanda de nutrientes es calculada en función de la extracción de nutrientes por tonelada cosechada propuesta por (Obreza y Morgan, 2008) con algunos complementos propuestos por los autores. Es claro que la extracción de nutrientes varía en función de las características edafoclimáticas y de la variedad cultivada. Los nutrientes minerales determinan el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de los árboles o cultivos frutales (Alva *et al.*, 2006; Razzaq *et al.*, 2013; Brunetto *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2018). Rodríguez *et al.*, (2018) afirman que entre las principales limitantes para el manejo tecnificado de los cultivos frutales se encuentra la deficiente planeación en el manejo de la fertilización. Cabe indicar que las deficiencias o excesos de nutrientes ocasionan un crecimiento deficiente de las plantas, al igual que una reducción en los rendimientos y mala calidad externa e interna de la fruta y, por ende, poca aceptación en el mercado (Brunetto *et al.*, 2015). Por lo anterior, uno de los objetivos principales de la nutrición mineral en los sistemas productivos es aumentar los ingresos netos a través del manejo eficiente y oportuno de la fertilización integrada.

En banano ‘Dominico’ cultivado en México, el pseudotallo fue el órgano que más materia seca y minerales acumuló. El elemento más extraído por la planta y los frutos fue el K. El orden de extracción total por planta fue: $K > Ca > N > Mg > P$. El orden de extracción por los frutos fue: $K > N > Ca \geq P \geq Mg$. La etapa en la que la planta extrajo más elementos fue a las cuatro semanas después de la emergencia de la inflorescencia. La cantidad de minerales a reponer al suelo es la extraída por los racimos, que son los que se retiran de la plantación (Castillo *et al.*, 2010). El K y el N fueron los elementos más acumulados por los frutos, siendo la acumulación de K aproximadamente tres veces mayor que la de N. La extracción total de nutrientes (en kg/ha) considerando 1875 unidades por hectárea fue de 71,2; 29; 386,6; 102,7 y 41 para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. El racimo de esa cantidad de unidades por hectárea extrajo, en kg/ha, 6,8 para N; 3,2 para P; 29,3 para K; 3,7 para Ca y 2,6 para Mg. Considerando que un racimo de este banano a cosecha tuvo un peso fresco promedio de 9 kg, una tonelada de fruta extrajo aproximadamente: 403 g de N; 189,6 g de P; 1,7 kg de K; 219 g de Ca y 154 g de Mg.

En el cv William cultivado en Colombia, Torres-Bazurto (2021) reporta que los frutos acumularon micronutrientes en la secuencia $Fe > Cu > Zn > Mn > B$. La extracción total por el racimo fue entre 116 y 442,8 mg kg⁻¹ para Cu, 214,3 y 267,4 mg kg⁻¹ en Fe, 92,8 y 133,4 mg kg⁻¹ en Mn, 101,2 y 125,9 mg kg⁻¹ de Zn, y 66,5 y 69,5 mg kg⁻¹ B, en todos los casos varió la extracción dependiendo del plan de fertilización. Debido a lo anterior, es importante que los productores y técnicos puedan utilizar estas herramientas para mejorar la toma de decisiones sobre el manejo de sus cultivos, que le permita aumentar la rentabilidad.

El desarrollo de los cultivos depende en gran medida de la temperatura y del fotoperiodo; entre tanto, en el trópico la temperatura es la variable ambiental con mayor influencia en el desarrollo de los cultivos. El papel regulador de la temperatura es a través de su acción sobre las reacciones enzimáticas que directa o indirectamente intervienen en los procesos de desarrollo (Pulido, 2008). La temperatura es un factor básico que influencia especialmente la tasa de desarrollo, desde la emergencia hasta la floración y madurez. Muchas especies están adaptadas a rangos particulares de temperatura; así, a medida que la temperatura ambiental o temperatura media (Ti) disminuye, sus tasas de desarrollo se reducen, a tal punto que si la temperatura baja al límite, el desarrollo se detiene; a esta temperatura límite se denomina base (Tb). Por el contrario, a medida que la temperatura aumenta, sus tasas de desarrollo se incrementan hasta una temperatura óptima (To), a partir de la cual estas disminuyen y



eventualmente se detienen en su temperatura máxima de desarrollo (T_m) (Martin y Jerez, 2017).

Este comportamiento se observó en plantas de banano de la variedad 'Williams' en una de las fincas evaluadas, en el cual, el crecimiento del dedo de la fruta se vio favorecido por la mayor acumulación de grados día y las mayores temperaturas, esto se debió a que para este cultivar el óptimo la temperatura de crecimiento es de 21 o 22°C. El crecimiento se detiene por debajo de 9 o 10°C y por encima de 38 o 39°C. A temperaturas por encima del óptimo una mayor cantidad de los carbohidratos producidos en las hojas se utiliza en respiración en las hojas, pseudotallo, cormo y raíces. Un racimo que emerge en abril puede tardar seis meses o más en madurar, mientras que uno que emerge en noviembre toma solo tres meses. Así que la temperatura tiene una gran influencia en la tasa de crecimiento de la fruta, de allí el uso de racimo cubiertos, que se cree que calientan la fruta, por lo que aumenta la tasa de crecimiento. Las cubiertas de racimos también reducen el gradiente de temperatura a través del racimo, y la fruta de racimos tapados son más uniforme que el de racimos descubiertos (Turner y Lahay, 1983).

En este mismo sentido, las plantas que se desarrollan rápidamente tienen pocas hojas totales. Después de la fase juvenil, el resto de las hojas se producen en el ápice de la planta durante la fase vegetativa media, aunque aparecen en secuencia en la parte superior del pseudotallo durante la fase vegetativa media y floral. El menor número de hojas totales fue producido en el cultivar 'Butembo', con una elevación de unos 1800 m. Para las etapas individuales de desarrollo, se produjeron menos hojas en elevaciones más altas que en elevaciones más bajas cuando se promedia a través de cultivares. El mayor efecto fue en 'Vuhembe' que tuvo una reducción grande y consistente en el número de hojas en la etapa vegetativa media y fase floral a medida que aumentaba la elevación, pasando de 32 hojas a aproximadamente 1000 m a 11 hojas a 2200 m, es así como se pudo observar que en la región del Caribe de Colombia las plantas del cultivar 'William' alcanzaron cerca de 10 hojas, pero un ligeramente superior en la finca 1, posiblemente por la mayor acumulación de calor en la misma localidad.

Por su parte, el tiempo térmico varió entre localidades y cultivares, pero no hubo tendencias claras hasta que los factores de fotoperíodo y temperatura se incorporaron para calcular las unidades de desarrollo térmico. La media térmica, promediado a través de cultivares para la localidad Butembo alcanzó valores superiores a los 1000 °C días, menos que la de Ndihera la mejor ubicación geográfica para producir musáceas. Por otro lado, Mavivi, el lugar más cálido, tuvo un tiempo térmico 32 °C menos que el en Ndihera. La tasa de desarrollo hacia la floración de los cultivares de banano estuvo fuertemente correlacionada con la temperatura del sitio. El desarrollo más rápido se produjo en Butembo (18,8 °C) y el más lento en Mavivi (23,6 °C). Este comportamiento fue similar al de esta investigación en el que la finca 1 alcanzó el desarrollo y crecimiento más rápido que la finca 3.

El requerimiento de agua en las diferentes etapas del sistema de producción de musáceas es uno de los temas técnicos con las mayores deficiencias de manejo en el mundo. Sin embargo, dada la creciente demanda del cultivo en los mercados nacionales e internacionales y en vista de la perspectiva de un clima futuro con temperaturas más altas y menos precipitaciones, es necesario implementar estrategias de uso eficiente del agua. Una disminución en la disponibilidad de agua en el cultivo genera estrés hídrico, el cual dificulta a la planta absorber o extraer el agua y los nutrientes necesarios para sus funciones fisiológicas. Una mayor demanda de agua para el llenado y producción de la fruta ocasiona múltiples deficiencias nutricionales.

El riego suplementario es muy importante para obtener una producción de mango suficiente y de calidad y es necesario para suplir las demandas de agua en la época seca o de menos lluvias o en aquellas zonas donde la evapotranspiración es mayor a la precipitación. Al ser cultivos que se desarrollan en los trópicos están adaptados a buenas condiciones de humedad, necesitan por lo menos 25 mm de agua por semana, y para mantener una productividad óptima requieren de precipitaciones anuales de 2000-2500 mm uniformemente distribuidas a lo largo del año. Cuando las condiciones de riego son limitadas, la sequía constituye para ellos una de las principales



causas de las pérdidas en los rendimientos agrícolas (Vanhove et al., 2012).

Este aplicativo también permite con las variables asociadas al clima gestionar un uso eficiente del recurso hídrico, lo cual constituye el insumo principal de la vida y juega un papel trascendental en la agricultura. Es por lo anterior, que con el uso de la aplicación se pretende promover el uso eficiente y racional del agua. Se busca que los riegos de las plantas se implementen en función de un balance hídrico donde se contemplen indicadores de apoyo como la precipitación, evapotranspiración de cultivo, coeficiente de cultivo, características del suelo entre otros. La importancia de este indicador radica en la necesidad de asegurar la humedad adecuada para la productividad del banano.

Finalmente, la heterogeneidad entre los diferentes tipos de productores implica realizar procesos de capacitación técnica (indistintamente del cultivo) con énfasis en las necesidades que tiene cada una de estas agrupaciones. De esta manera, como lo mencionan Espinoza et al., (2017); Wuepper et al. (2017); CEPAL et al. (2018) y Rodríguez et al. (2020) se facilita el intercambio de información entre ellos, lo cual permitirá ampliar sus conocimientos técnicos, generen innovación y con ello, sus habilidades prácticas para mejorar la producción del cultivo y la capacidad de negociación ante diferentes canales de comercialización. Por otro lado, clasificar a los productores de acuerdo con las características de manejo del cultivo y variables económicas, facilita el entendimiento a los tomadores de decisiones respecto al accionar frente a cada grupo de agricultores. En este sentido, al considerar las cuatro diferente tipologías que se generaron en esta investigación, en términos generales las tipologías estaban caracterizadas por requerir un trabajo enfocado en el mejoramiento del manejo agronómico del cultivo con miras a aumentar la productividad y ser más eficiente en la inversión económica, organizar estrategias a través de las cuales se fortalezcan las habilidades técnicas y financieras de los agricultores, lo cual posteriormente implicará mayor eficiencia económica y otros grupos ubicados en las tipologías que no obtienen ganancias estables, y son muy vulnerables a las fluctuaciones típicas del mercado, De esta manera, es posible identificar grupos focales para definir futuras inversiones, acompañamientos y generación de proyectos con el objetivo de mejorar la eficiencia, la rentabilidad, equidad y sostenibilidad en el cultivo de la piña, por ser indicadores clave para mejorar la productividad y la competitividad de los sistemas productivos (IICA 2010).

Este tipo de estudios dan lineamientos para establecer planes, programas y proyectos no solo del nivel local, sino para gobiernos departamentales que atiendan los aspectos limitantes de mayor importancia en el sistema productivo (Adegbite y Adeoye 2015; Rodríguez et al. 2020).

Adicionalmente, si no se logra aumentar la capacidad técnica al mismo tiempo que la eficiencia económica, es posible que en el futuro se genere un mal uso de los recursos (Cachanosky 2012). Por ello, resulta muy importante que el sistema productivo se analice de forma integral y no como partes independientes (Vidalf 2015).

CONCLUSIONES

El diagnóstico y caracterización de las diferentes regiones productoras de banano en Colombia, Perú y República Dominicana, arrojó la necesidad y a la vez oportunidad que existe para el desarrollo de herramientas tecnológicas de apoyo para la toma de decisiones sobre prácticas agronómicas que contribuyan en la tecnificación de los sistemas productivos y de esta manera se aumente la productividad y se mejore la calidad de producción.

El diagnóstico además permitió identificar que no existe una App de uso libre dirigida a productores familiares de musáceas que incluya los cinco componentes o módulos que ofrece el aplicativo °AHOra.

Se desarrolló una aplicación web-móvil de uso gratuito al servicio de los productores que permite realizar algunas proyecciones del cultivo (estimación de tasa potencial de hojas, proyección de fecha óptima de cosecha, cuantificación de productividad, requerimientos nutricionales y requerimientos hídricos) a partir de datos locales meteorológicos y abióticos. Este relacionamiento práctico busca que el productor conozca la capacidad de



desarrollo de su plantación, identifique los problemas que afectan el desarrollo del cultivo y sobre todo que se corrijan a tiempo.

El proceso de validación del uso de la aplicación °AHOra permitió que los productores reconocieran y aprendieran a utilizar la aplicación y generar diagnósticos sobre la salud de las plantas, proyectar la cosecha en función de la acumulación de grados días, generar planes de fertilización y riego de acuerdo con las necesidades del cultivo. Por otra parte, la herramienta les permite monitorear las condiciones climáticas predisponentes y generar planes de mitigación ante la presencia de eventos climáticos adversos. Para el caso de Colombia la validación permitió además verificar la funcionalidad de los modelos propuestos y ajustar la estimación de requerimientos hídricos en pro de dar mayores soluciones y alternativas al productor a la hora de definir las cantidades de agua a aplicar para garantizar que las plantas tomen los nutrientes de manera eficiente. Específicamente, se incorporó al modelo dos nuevos indicadores útiles para mejorar la eficiencia en las recomendaciones, la cuales son densidad aparente y humedad del suelo antes de iniciar el riego, teniendo en cuenta que se espera llegar mediante la aplicación de riego a un indicador de 70% de humedad.

Para garantizar la sostenibilidad financiera y técnica del aplicativo, una vez finalice la ejecución del proyecto, se desarrolló un plan de negocios que integra estrategias que permiten disminuir la incertidumbre del futuro de la aplicación en Colombia, Perú y República Dominicana, como lo son: 1) Desarrollar una versión de la App para cada país, las cuales se ajustan a las particularidades propias de los sistemas productivos (manejo agronómico, nivel de tecnificación, destino de la producción, condiciones socioeconómicas de los productores y grado de adopción de tecnología, entre otros) en las regiones de estudio en cada uno de los tres países participantes; 2) instalación de la App en servidores con la capacidad requerida y administrados por instituciones estatales comprometidas en aportar este recurso sin costo adicional (aporte en especie), para asegurar indefinidamente la estabilidad en el servicio, en el caso de Colombia se encuentra en los servidores de Agrosavia, en República Dominicana en los servidores del Ministerio de agricultura, y en Perú en los servidores del INIA; 3) Anclaje de estaciones meteorológicas a la App, cuyos propietarios se comprometen a cubrir los costos de mantenimiento y plan de datos para la transmisión automática de los datos; 4) publicación de la App en tiendas móviles (Google play); 5) continuar generando articulaciones con actores de la cadena de musáceas con el fin de poder acceder a más estaciones meteorológicas y de llegar a más usuarios.

Uno de los desafíos que afronta la digitalización de la agricultura, sobre todo en América Latina y El Caribe (ALC), es la baja cobertura de los operadores de Internet, lo cual limita la conectividad y por tanto el acceso a herramientas como la App °AHOra. Se espera que la capacidad del internet rural mejore y se facilite así el uso de herramientas de uso gratuito que aporten datos y conocimiento a los productores familiares, para que tomen decisiones informadas y oportunas en pro de optimizar recursos y mejorar la sostenibilidad.

RECOMENDACIONES

- Es fundamental, tal como se planteó en este proyecto, tener en cuenta las necesidades, expectativas y realidades de los productores de la agricultura familiar y técnicos de los territorios bajo estudio, con el fin de que las herramientas que se desarrollen - App °AHOra, sean realmente adaptadas y adoptadas por los productores familiares. Se recomienda hacer constantemente ejercicios en campo con los productores y técnicos, de tal manera que se tenga en cuenta su experiencia y percepción sobre la utilidad y facilidad de uso de las herramientas tecnológicas. Es importante que estos ejercicios se realicen de manera paciente y didáctica, de tal manera que se facilite la comprensión y apropiación.
- Es recomendable aprovechar las tecnologías y recursos que están al alcance de los productores, como los dispositivos móviles inteligentes, las redes locales de estaciones meteorológicas y la conexión a internet, dado que facilita la captación e intercambio en tiempo real de información para mejorar la toma de decisiones sobre el manejo agronómico del cultivo, gracias al uso de datos para orientar las prácticas de cultivo, tal como lo propone el aplicativo °AHOra para las zonas productoras de banano y plátano de



Colombia, Perú y República Dominicana que se atendieron en este proyecto. La publicación de material audiovisual, gráfico y escrito, con información sobre el paso a paso del uso de las herramientas desarrolladas, como la App °AHOra, y el soporte científico en el que se basa su funcionamiento, permite que más personas conozcan y accedan a los servicios que presta la aplicación.

- Con el fin de crear oportunidades para hacer más competitiva la agricultura campesina, familiar y comunitaria - ACFC, es importante y urgente que tomadores de decisiones, investigadores y financiadores se articulen y generen sinergias para buscar que se intensifique el uso de datos climáticos, ya sea netos o aplicados a ecuaciones que brinden información derivada (como la que presenta el aplicativo °AHOra), dado que esto amplía la capacidad de los productores y técnicos para tomar mejores decisiones, permite a organizaciones formular mejores programas de asistencia técnica, y en general, mejorar la planificación para reducir los efectos adversos de eventos moderados y extremos de variabilidad climática. Así mismo, desde la ejecución de los proyectos, es fundamental diseñar e implementar estrategias que garanticen que, una vez finalicen los proyectos, los desarrollos tecnológicos se continúen usando y sigan disponibles para los productores. En el caso del aplicativo °AHOra, esta planeación se centró en garantizar que los usuarios tendrán acceso continuo y gratuito a los servicios que presta la App.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adegbite, O. and Adeoye, I. 2015. Technical Efficiency of Pineapple Production in Osun State, Nigeria. *Agris On-line Papers in Economics and Informatics* 7(1):3-12. DOI: 10.7160/aol.2015.070101.
- Akinbile, C. O., A. Ogundipe, and R. O. Davids. 2020. Crop water requirements, biomass and grain yields estimation for upland rice using CROPWAT, AQUACROP and CERES simulation models. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 22 (2): 1-20.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Roma: FAO*, 298(0).
- Allen, R. N., Dettmann, E. B., Johns, G. G., & Turner, D. W. (1988). Estimation of leaf emergence rates of bananas. *Australian Journal of Agricultural Research*, 39(1), 53-62.
- Almanza P, Quijano-Rico M, Fischer G, Chávez, B, Balaguera-López HE. (2010). Physicochemical characterization during growth and development of grapevine (*Vitis vinifera* L.) fruits under high tropical conditions. *Agron Colomb*. 28(2): 173-180.
- Alva, A.K.; Mattos Jr., D.; Paramasivam, S.; Patil, B.; Dou, H.; Sajwan, K. 2006. Potassium management for optimizing citrus production and quality. *International Journal of Fruit Science* 6: 3-43
- Aula, L., P. Omara, E. Nambi, F.B. Oyebiyi, J. Dhillon, E. Eickhoff, J. Carpenter, and W.R. Raun, 2021: Active Optical Sensor Measurements and Weather Variables for Predicting Winter Wheat Yield. *Agronomy Journa*. (DOI: 10.1002/agj2.20620).
- Baker, J.T. and Reddy, V.R. 2001. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. *Annals of Botany*, 87(5):605-613. Doi: <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1381>
- Brunetto, G.; De Melo, G.W.B.; Toselli, M.; Quartieri, M.; Tagliavini, M. The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v.37, n.4, p.1089-1104, 2015.
- Cachanosky, I. 2012. Eficiencia técnica, eficiencia económica y eficiencia dinámica. *Procesos de Mercado: Revista Europea de Economía Política* IX (2): 51-80. (Revista en línea). En: <http://www.hacer.org/pdf/ICachanosky00.pdf> (diciembre de 2019).
- Calberto, G., Blake, D., Staver, C., Carvajal, M. and Brown, D. (2018), The frequency and effects of weather events on banana productivity-results of a global survey. *Acta Horticulturae* 1196 (pp. 179-186).
- Calberto, G., Staver, C., and Siles, P. (2015), An assessment of global banana production and suitability under climate change scenarios, In: *Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade*, Aziz Elbehri (editor). Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Cárdenas-González H, S. Zapata-Henao, J. D. Sánchez-Torres. (2017). "Análisis productivo de plátano en alta densidad y su relación con la precipitación en Urabá," *Revista Politécnica*, 13 (24): 27-35.
- Castillo González, AM, Hernández Maruri, JA, Avitia García, E, Pineda Pineda, J, Valdéz Aguilar, LA, & Corona Torres, T. (2011). Extracción de macronutrientes en banano 'Dominico' (*Musa spp.*). *Phyton* (Buenos Aires), 80(1), 65-72. Recuperado en 11 de octubre de 2022, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572011000100010&lng=es&tlng=es.
- CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, MAG. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, NDF. Fondo Nórdico de Desarrollo y BID. Banco Interamericano de Desarrollo. 2018. Acompañamiento técnico y fortalecimiento de capacidades de los productores agropecuarios en el contexto del cambio climático en Costa Rica: Líneas de acción para la revitalización del servicio de extensión agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería, LC/MEX/TS.2018/23, Ciudad de



México. 72 p.

- Díaz-López, E.; Loeza-Corte, J. M.; Campos-Pastelín, J. M.; Morales-Rosales, E. J.; Domínguez-López, A. y Franco-Mora, O. "Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.)". *Agrociencia*, vol. 47, no. 2, 2013, pp. 135-146, ISSN 1405-3195.
- Espinoza, J., Ramírez, A., Guerrero, L. y López, S. 2017. Estrategias, alianzas y portafolio de negocios para desarrollar la competitividad del cultivo del melón en la Comarca Lagunera, México. *Nova scientia* 9 (19). (Revista en línea). En: <http://dx.doi.org/10.21640/ns.v9i19.990> (diciembre de 2019).
- FAO. 2021a. AquaCrop. Disponible en: <https://www.fao.org/aquacrop/overview/practicalapplications/es/>
- FAO. 2021b. World Food Studies Simulation Model (WOFOST). Disponible en: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1236431/>
- FAO. 2021c. CropSyst. Disponible en: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1236450/>
- FAO. 2021d. CropWat. Disponible en: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es>
- FAOSTAT. (2021). Producción mundial de musáceas año 2019. [Consultado el 17 de abril de 2021]. URL: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
- Ferrer, M.; Gálvez, G.; Lamela, C.; Jiménez, G. 2014. Uso de los grados días acumulados en la estimación de la evapotranspiración de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) para ciclos de crecimiento monomodal. *Cultivos Tropicales*, 35(3): 113-117. ISSN 1819-4087
- Flores-Gallardo, H.; Ojeda-Bustamante, W.; Flores-Magdaleno, H.; Mejía-Sáenz, E.; Sifuentes-Ibarra, E. 2012. Grados día y la programación integral del riego en el cultivo de papa. *Tierra Latinoamericana*. 30(1): 59-67.
- Flórez-Martínez, D. H. & Uribe-Galvis, C. P. (2018). TIC para la investigación, desarrollo e innovación del sector agropecuario. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA). <http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/62/45/586-1>
- Fontagro. 2022. Proyecto: "Escalando mejora continua en banano orgánico de exportación familiar (BOFX)". Disponible en: <https://www.fontagro.org/new/proyectos/banano-organico>.
- Galán Saucó V, Cabrera J, Hernández Delgado PM (1992) Diferencias fenológicas y de producción entre banano de invernadero y al aire libre (*Musa acuminata* Colla AAA cv, Dwarf Cavendish) en Canarias. *Acta Hort.* 296: 97-111.
- Ganry, J., (1978). Recherche d'une méthode d'estimation de la date de récolte du bananier à partir de données climatiques dans les conditions des Antilles. *Fruits* 33 (10), 669-679.
- Guarín, G., & Ochoa, A. (2011). Aplicación del modelo SIMBA-POP a la producción de banano en Urabá (Colombia). X Congreso Colombiano de Meteorología y Conferencia Internacional "200 años de la meteorología y de la climatología en América Latina" – Bogotá, marzo de 2011.
- Hoyos, D.; Morales, J.; Chavarría, H.; Montoya, A.; Correa, G.; Jaramillo, S. 2012. Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) en un Modelo de Producción Aeropónico. *Rev.Fac. Nal. Agr. Medellín* 65(1): 6389-6398.
- Jiménez, R.; Rengifo, D. Céspedes, C; y Suárez. (2013). Relevamiento de las mejores prácticas e innovaciones en la producción de banano de exportación. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Santo Domingo, República Dominicana
- Jullien, A., Chillet, M., & Malézieux, E. (2008). Pre-harvest growth and development, measured as accumulated degree days, determine the post-harvest green life of banana fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(4), 506-512.
- López M., M.A., Chaves C., B. y Florez R., V.J. (2011). Modelos de cultivos y modelos fenológicos. En: Florez R., V.J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 153-177.
- Martín R., y E. Jerez. (2017). Efecto de las temperaturas en el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L.)



- Variedad Romano. Cultivos Tropicales, 38 (1), 75-80.
- Martínez, A.M., y D.G. Cayón. 2011. Dinámica del crecimiento del banano (Musa AAA, Simmons cvs. Gran Enano y Valery). Rev. Fac. Nac. Agr. Medellín 64:6055-6064.
- Matzarakis, A., Ivanova, D., Balafoutis, C., & Makrogiannis, T. (2007). Climatology of growing degree days in Greece. Climate Research, 34(3), 233-240.
- Mira, J., A. Díaz y M. Hernández. 2004. Influencia del régimen de lluvias sobre la productividad bananera de Urabá. p. 72. En: Memorias. XXXIV Congreso Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal. COMALFI, Bogotá.
- Monteith JL (1981) ¿Limita la luz la producción de luz? En: Johnson CB (ed.), Procesos fisiológicos que limitan la productividad de las plantas, págs. 23-38. Butterworths, Londres.
- Nyombi, K., van Asten, P., Leffelaar, P., Corbeels, M., Kaizzi, C.K., Giller, K. (2009). Allometric growth relationships of East Africa highland bananas (Musa AAA-EAHB) cv. Kisansa and Mbwazirume. Annals of Applied Biology 155 (3), 403–418.
- Obreza, T. T., & Morgan, K. T. (2008). Nutrition of Florida citrus trees. EDIS, 2008(2).
- Orduz, J.; Monroy, H.; Fischer, G. (2010). Comportamiento fenológico de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte del Meta, Colombia. Agronomía Colombiana 28(1), 63-70.
- Panigrahi, N., A. J. Thompson. S. Zubelzu y J. Knox. (2021). Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production, Scientia Horticulturae. 276, pp. 109735.
- Parra-Coronado A., Fischer G., and B. Chaves - Córdoba. 2015. Thermal time for reproductive phenological stages of pineapple guava (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Acta Biológica Colombiana. 20 (1)163-173. DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v20n1.43390>
- Pulido, S.P. 2008. Desarrollo de un modelo fenológico de Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). var. Septentrionale. Tesis de maestría, Facultad de Agronomía. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 84p.
- Puvvada, N. and Prasad Babu, M.S. 2018. Semantic web-based banana expert system. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 8(3), 364-371.
- Ramírez C., C., Daza G., J., & Peña Q., A. J. (2015). Tendencia anual de los grados día café y los grados día broca en la región andina ecuatorial de Colombia. *Corpoica Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 51-63.
https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:379
- Razzaq, K.; Khan, A.S.; Malik, A.U.; Shahid, M.; Ullah, S. Foliar application of zinc influences the leaf mineral status, vegetative and reproductive growth, yield and fruit quality of 'Kinnow' mandarin. Journal of Plant Nutrition, Philadelphia, v.36, p.1479-1495, 2013.
DOI: [10.1080/01904167.2013.785567](https://doi.org/10.1080/01904167.2013.785567)
- Rodríguez Polanco, E., Gutiérrez Díaz, J. S., & Orduz Rodríguez, J. (2018). Diagnóstico nutricional del cultivo de la lima ácida Tahití [*Citrus latifolia* (Yu Tanaka) Tanaka] en el departamento del Tolima (Colombia). Temas Agrarios, 23(2), 144-153. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1298>.
- Rodríguez W, Flórez V. (2006). Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura. Agron Colomb. 24(2):247-257.
- Rodríguez, G., Betancourt; M. y Méndez, C. 2020. Modelos de Agronegocios Sostenibles. Estudio de caso: cultivo de plátano en los Llanos Orientales de Colombia. In. Lango, F., Lango, V., Castañeda, M., Montoya, J., Landeros, C., eds. 20 años de Tecnología e Investigación Sustentable. Red Iberoamericana de academias de Investigación AC. Veracruz, México. pp 288-307.
- Rodríguez-Espinosa, Holmes; Ospina-Parra, Carlos Eduardo; Ramírez-Gómez, Carlos Julián; Toro- González, Isabel Cristina; Gallego-Lopera, Alexandra; Piedrahita-Pérez, María Alejandra; Velásquez-Chica, Alexandra; Gutiérrez-Molina, Swammy; Flórez-Tuta, Natalia; Hincapié- Echeverri, Oscar Darío & Romero-Rubio, Laura Cristina. 2020. Lineamientos para una metodología de identificación de estilos de aprendizaje aplicables al sector agropecuario colombiano. ISSN: 0122-876
<http://revista.corpoica.org.co/html/1050/>.

- Salazar M, Jones J, Chaves B, Cooman A. (2008). A model for the potential production and dry matter distribution of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Sci Horticulture Amsterdam*. 115(2):142–148. Doi: 10.1016/j.scienta.2007.08.015.
- Salazar, M. (2006). Un modelo simple de producción potencial de uchuva (*Physalis peruviana* L.). (Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias – Área Agraria). Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, p.110.
- Salazar-Gutierrez, M. R., Johnson, J., Chaves-Cordoba, B., & Hoogenboom, G. (2013). Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 7(4), 741-762.
- Sharma A., Arora S., Sharma V., Arya V.M., Sharma S.K. 2019. Soil and weather-based yield prediction model for rainfed areas. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89 (5).
- Sifuentes Ibarra, E.; Ruelas, J.; Macías, J.; Talamantes, I.; Palacios, C.; Valenzuela, B. 2015. Fenología y tiempo en el manejo del riego y fertilización del cultivo de papa. *Biocencia*, 17(3): 42-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.18633/bt.v17i3.218>
- Sikder S. (2009) Accumulated heat unit and phenology of wheat cultivars as influenced by late sowing heat stress condition. *J Agric Rural Dev*. 7(1-2):57-64.
- Sotomayor, O., Ramírez, E y H. Martínez. 2021. “Digitalización y cambio tecnológico en las mipymes agrícolas y agroindustriales en América Latina”, *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2021/65), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Staver, C. Turmel, M., Siles, P., Mpiira, S., Bustamante, O., Calberto, G., Dita, M., Omondi, A. Álvarez, E. Zheng, S. 2018. Step by step tools to identify agroecological intensification alternatives for banana cropping systems. *Acta Horticulturae* 1196: 9-18.
- Stevens, B., Diels, J., Vanuytrecht, E., Brown, A., Bayo, S., Rujweka, A., ... & Swennen, R. (2020). Canopy cover evolution, diurnal patterns and leaf area index relationships in a Mchare and Cavendish banana cultivar under different soil moisture regimes. *Scientia Horticulturae*, 272, 109328.
- Távora, M. (2020). Efectos del cambio climático en la productividad del banano orgánico en el Valle del Chira – Sullana - Piura (Trabajo de investigación de Máster en Agronegocios). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
- Tecbaco. 2021. Banasof. Recuperado de: <https://www.tecbaco.com/productores/>. time models. *Acta Horticulturae*, 707:159-165.
- Thornton, P., L. Cramer. (2012). Impacts of climate change on the agricultural and aquatic systems and natural resources within the CGIAR’s mandate. Copenhagen, Denmark.
- Tixier, P., Malézieux, E., & Dorel, M. (2004). SIMBA-POP: a cohort population model for long-term simulation of banana crop harvest. *Ecological Modelling*, 180(2-3), 407-417.
- Torres-Bazurto, J., Magnitskiy, S., & Sánchez, J. D. (2021). Accumulation and distribution of micronutrients in banana cv. Williams (Musa AAA Simmonds) with different doses of nitrogen. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(1), e11795. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i1.11795>
- Turner DW (1971). Effects of climate on rate of banana leaf production. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 48, 283–287
- Turner DW (1994). Bananos y plátanos. En: Schaffer B, Andersen PC (eds), *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops*, vol. 2. Cultivos tropicales y subtropicales, págs. 37-64. Prensa CRC, Boca Raton.
- Turner DW (1998). Influencia de los principales factores ambientales (temperatura, humedad, luminosidad y suelo) sobre crecimiento y producción en banano y plátano. En: Actas de la 13ª Reunión de ACORBAT, Guayaquil, Ecuador, págs. 635-663. CONABAN, Ecuador.
- Turner DW, Lahav E (1983). The growth of banana plants in relation to temperature. *Aust. J. Plant Physiol.* 10:43-53.

- 
- Turner, D. W. (1987). Nutrient supply and water use of bananas in a subtropical environment. *Fruits*, 42(2), 89-93.
- Turner, D. W. (1989). Modelling demand for nitrogen in the banana. In *International Symposium on the Culture of Subtropical and Tropical Fruits and Crops 275* (pp. 497-504).
- Turner, D. W., Fortescue, J. A., & Thomas, D. S. (2007). Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 463-484.
- Turner, D., Hunt, N. (1983). The relationship between temperature and the rate of appearance of new leaves on thirty banana varieties grown in the subtropics. *García Orta serie Estudios Agron. Lisb.* 10, 91–94.
- Umber, M., Paget, B., Hubert, O., Salas, I., Salmon, F., Jenny, C. Marc Chillet & Bugaud, C. (2011). Application of thermal sums concept to estimate the time to harvest new banana hybrids for export. *Scientia horticultrae*, 129(1), 52-57.
- Vidal, R. 2015. Cómo crear cadenas productivas competitivas y sostenibles: aprendizajes del biocomercio en Ecuador. *Debates IESA XX(2)*: 15-19.
- Wuepper, D., Sauer, J. y Kleemann, J. 2017. Sustainable intensification amongst Ghana's pineapple farmers: the complexity of an innovation determines the effectiveness of its training. *Environment and Development Economics* 23(01):1-22. DOI: 10.1017/S1355770X1700033X (febrero de 2020).
- Yang Chen, Donohue, T. McVicar, F. Waldner, G. Mata, N. Ota, A. oushmandfar, Kavina S. Dayal, R. Lawes. 2020. Nationwide crop yield estimation based on photosynthesis and meteorological stress indices. *Agricultural and Forest Meteorology*. doi: 10.1016/j.agrformet.2019.107872
- Yela, P.; Boza, J.; Baquedano, L.; Fierro; Rivas, K., y Quiñonez. (2016). Efectos del cambio climático en la producción agrícola del banano en el cantón Valencia. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. En línea: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2016/09/banano.html>
- Zhou, Y.; He, W.Z.; Zheng, W.L.; Tan, Q.L.; Xie, Z.Z.; Zheng, C.S.; Hu, C.X. Fruit sugar and organic acid were significantly related to fruit Mg of six citrus cultivars. **Food Chemistry**, London, v.259, p.278-285, 2018.

Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org