

GUÍA METODOLÓGICA



19/02/2018

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA, MODELACIÓN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS HORTÍCOLAS EN AMBIENTES PROTEGIDOS.

Contenido

INTRODUCCIÓN	2
1. MONITOREO AGROCLIMÁTICO PARA GENERAR ESTRATEGIAS DE MANEJO DE LA AGRICULTURA EN AMBIENTES PROTEGIDOS.	4
1.1 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA.....	4
1.2 MODELADO DE ESTRUCTURAS.....	6
1.3 VARIABLES AGROCLIMÁTICAS DE INTERÉS.....	8
2. INDICADORES DE INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	13
2.1 GENERALIDADES.....	13
2.2 MARCO CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA INTESIFICACIÓN SOSTENIBLE....	14
2.3 INDICADORES SELECCIONADOS.....	18
REFERENCIAS	0

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA, MODELACIÓN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS HORTÍCOLAS EN AMBIENTES PROTEGIDOS.

Autores:

Miguel Ángel Ayarza, Diego Fernando Alzate, Alexandra Mañunga, Jorge Eliecer Jaramillo, Edwin Andrés Villagrán, Rommel Igor León, Andrea Onelia Rodríguez, Martha Marina Bolaños, William Andres Cardona, Mark Musumba, Roberto Ramírez, Jose Alberto Yau.

INTRODUCCIÓN

La agricultura del siglo XXI enfrenta importantes desafíos sociales, económicos y ambientales. Deberá prepararse para incrementar drásticamente la producción de alimentos (en un 60%) para sostener a una población creciente, la cual se espera que alcance los 9.700 millones de personas para el año 2050 (FAO, 2016).

Los consumidores demandan cada vez más productos hortícolas de excelente calidad e inocuidad y los productores requieren de tecnologías de manejo que permitan incrementar su productividad y reducir el uso de agroquímicos para cumplir las exigencias del mercado. Una alternativa es el uso de tecnologías asociadas a la Agricultura protegida (AP). Esta estrategia es uno de los aportes más importantes de la revolución científica agrícola del siglo XX y hoy en día es un componente esencial de la actividad agrícola moderna en todo el mundo debido fundamentalmente a su fuerte vinculación con la agroindustria de exportación, el uso de tecnologías de punta y aplicación de elementos biotecnológicos necesarios para la producción de alimentos dentro de una agricultura moderna y competitiva (Mayorga, 2012).

La agricultura protegida se define como toda aquella producción agrícola que se hace bajo estructuras cerradas o abiertas, cubiertas con materiales, transparentes, dentro de la cual es posible obtener condiciones artificiales de microclima y, donde es posible cultivar plantas en condiciones más óptimas. Bajo este sistema, se lleva a cabo el control del medio edafo-climático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad entre otros), con el propósito de alcanzar adecuado crecimiento vegetal, aumentar los rendimientos, mejorar la calidad de los productos y obtener excelentes cosechas. El microclima bajo estas estructuras es en general el más próximo a las condiciones biológicas óptimas para la variedad cultivada, maximizando el proceso de fotosíntesis y de esta manera se obtiene más producción por metro cuadrado con mayor eficiencia en el uso de insumos. (Jaramillo et al., 2007)

Las instalaciones para la protección de cultivos pueden ser muy diversas en términos de complejidad de sus estructuras. Pueden ser micro y macro túneles, invernaderos y casas malla. Los micro túneles son pequeñas estructuras, sencillas, de fácil instalación y

económicamente accesibles, que soportan la malla o pantalla que provee protección temporal al cultivo. En general, son utilizados para proteger los cultivos en sus primeras etapas, contra los agentes climáticos, plagas y enfermedades.

Cualquiera de estos tipos de estructura es utilizado tanto en la producción de hortalizas y frutas como en otros tipos de cultivos en todos los países del mundo. La complejidad de cada uno de ellos y el tipo de materiales utilizados depende de las condiciones de clima de la región donde se establecen las áreas de producción. (Mayorga, 2012)

Contar con un conocimiento del comportamiento del clima local y con información de calidad se convierte en una prioridad. Este documento se presenta como una primera guía de recomendaciones para la implementación de sistemas de monitoreo agroclimático y una propuesta de indicadores para evaluar los beneficios económicos, sociales y ambientales de la agricultura en ambientes protegidos como una innovación tecnológica que mejore los sistemas de agricultura familiar. Este documento es el resultado de un taller llevado a cabo en Costa Rica con el apoyo financiero de FONTAGRO en el que investigadores de Corpoica, Colombia, INTA, Costa Rica e IDIAP, Panamá y la Universidad de Florida, Estados Unidos intercambiaron experiencias.

1. MONITOREO AGROCLIMÁTICO PARA GENERAR ESTRATEGIAS DE MANEJO DE LA AGRICULTURA EN AMBIENTES PROTEGIDOS.

1.1 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA

La gestión de la información agroclimática es un proceso dinámico orientado al manejo adecuado de los datos, desde el registro, transmisión, almacenamiento, procesamiento, control de calidad, visualización, consulta (idealmente en tiempo real) y descarga por el usuario final. Su objetivo fundamental es facilitar el acceso a información de calidad para la toma de decisiones y permitir a diferentes actores (agricultores, investigadores y tomadores de decisión, entre otros), identificar y cuantificar los riesgos derivados de eventos de variabilidad climática extrema en la agricultura, cada vez más frecuentes e intensos.

Los registros agroclimáticos se generan a través de estaciones agrometeorológicas, sensores e instrumentos para medición de parámetros eco-fisiológicos de cultivos, sensores remotos como satélites meteorológicos (Figura 1): GOES, TRMM, Meteosat, entre otros y el uso de cámaras multi e hiperespectrales acopladas a UAVs (Vehículos Aéreos).

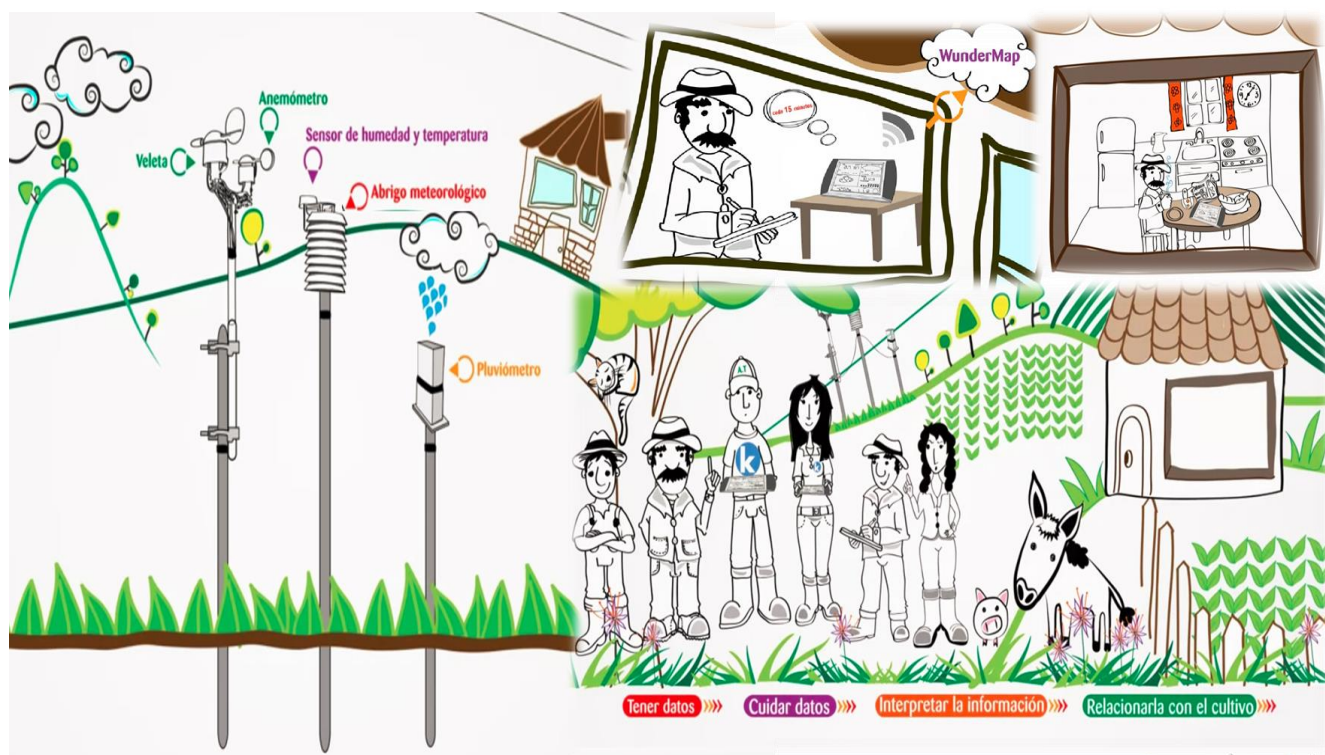


FIGURA 1. SENSORES AGROCLIMÁTICOS. FUENTE: PROYECTO MAPA - CORPOICA

Boshell (2014) menciona dos principios fundamentales:

- La información agroclimática debe beneficiar tanto a los productores que tienen fines comerciales, como a los agricultores cuyos fines son de autoconsumo y seguridad alimentaria y tienen condiciones tecnológicas particulares.
- El tipo de información, así como sus alcances, forma de comunicación y aplicación es distinta en los dos casos.

Los procesos para la gestión de la información agroclimática presentan brechas y limitantes en países de América Latina y El Caribe. Como lo menciona Boshell (2014), entre los principales se encuentran:

- **La calidad de los datos disponibles para los usuarios no cubre sus expectativas y necesidades:** no existen protocolos unificados de control de calidad, que se estén aplicando de modo efectivo en las diversas instituciones.
- **En estaciones convencionales, la disponibilidad de los datos no es adecuada:** existen rezagos importantes entre la fecha en que están disponibles los datos y las fechas en que fueron registrados.
- **Acceso restringido a los datos:** a pesar de los esfuerzos por facilitar el acceso a la información agroclimática no siempre los procesos de solicitud y/o entrega de información son sencillos.
- **Falta información útil para pequeños productores no tecnificados (campesinos, indígenas, comunidades y Afrodescendientes):** quienes demandan alertas agroclimáticas tempranas locales, construidas con su participación y en muchos casos generan estructuras para agricultura protegida sin ninguna planificación ni modelación previa.
- **Existe dispersión de los datos disponibles entre diversos actores:** quienes no comparten la información, tienen protocolos diferentes de captura, transmisión, almacenamiento, control de calidad de datos, así como de instalación, operación, calibración y mantenimiento de equipos en sus estaciones. Por ello, los datos tienen diversos niveles de incertidumbre, según su fuente.
- **Los entes nacionales encargados de generar la información agroclimática no alcanzan a cubrir las necesidades del sector agropecuario y de sus sub-sectores productivos:** sus funciones y alcances son de índole nacional y multi-sectorial y sus recursos no necesariamente están enfocados en las necesidades específicas del sector.

- **Escasa articulación inter institucional e inter sectorial para integrar la información agroclimática relevante para el sector agropecuario y específicamente para la agricultura protegida:** la información que se genere debe ser pertinente, accesible y de calidad, para que pueda ser utilizada apropiadamente para reducir la vulnerabilidad al cambio climático y garantizar la seguridad alimentaria de las comunidades y pueblos de la región y del mundo.

El cambio climático y la variabilidad climática extrema suponen uno de los principales desafíos para la agricultura en América Latina y El Caribe. Boshell (2014) menciona las principales amenazas agroclimáticas actuales:

- Sequías más frecuentes (conflictos prediales, regionales y sectoriales por el acceso y uso del agua).
- Inundaciones más frecuentes (conflictos por pérdidas de cosechas y desplazamientos o inseguridad alimentaria).
- Vendavales, granizadas, heladas y temperaturas altas más frecuentes (conflictos por pérdidas de cosechas y desplazamientos o inseguridad alimentaria).
- Algunos de los efectos esperados en la agricultura por el cambio climático son:
 - Alteración de patrones hidrológicos
 - Alteración de ciclos fisiológicos y ciclos de los cultivos.
 - Disminución y alteración de oferta hídrica.
 - Plagas, hongos y enfermedades asociados con niveles altos de humedad atmosférica.
 - Mayor uso de agroquímicos.
 - Aumento de escorrentía, lavado de suelos.
 - Inundaciones.
 - Incendios de cobertura vegetal.
 - Muerte súbita de ganado por Clostridiosis en suelo con encharcamiento.
 - Intoxicación por acumulación de nitritos y nitratos en suelos con altos contenidos de materia orgánica.
 - Mayor frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos.

1.2 MODELADO DE ESTRUCTURAS

La agricultura protegida es una de las principales medidas de adaptación frente a los impactos del cambio climático y la variabilidad climática extrema. Sin embargo, se requieren procesos adecuados de gestión de la información agroclimática, superando las brechas anteriormente mencionadas y realizando modelaciones y simulaciones con rigor técnico, que permitan definir tipos de estructuras de acuerdo con las condiciones de las diferentes zonas.

La modelación de estructuras para agricultura protegida se realiza a partir de la herramienta computacional CFD (Computational Fluid Dynamics), la cual genera simulaciones y modelación de las condiciones ambientales generadas en el interior de las estructuras de ambiente protegido, de acuerdo con parámetros de diseño y dimensiones de infraestructura, materiales de la misma y condiciones ambientales externas a la infraestructura. Generalmente, los parámetros a seguir para encontrar el prototipo ideal de estructura se basan en tasas de ventilación con saltos térmicos no mayores a 3°C, sin la intervención de sistemas de humidificación y ventilación forzada.

Para la realización adecuada de las simulaciones y modelaciones de estructuras debe existir información **agroclimática con controles de calidad** y con información de al menos tres (3) años de registros, de una estación climática cercana al lugar de la instalación de las estructuras. Esta información es fundamental para la modelación y diseño de las estructuras y es requerida en forma horaria de acuerdo con las especificaciones del software CFD a utilizar.

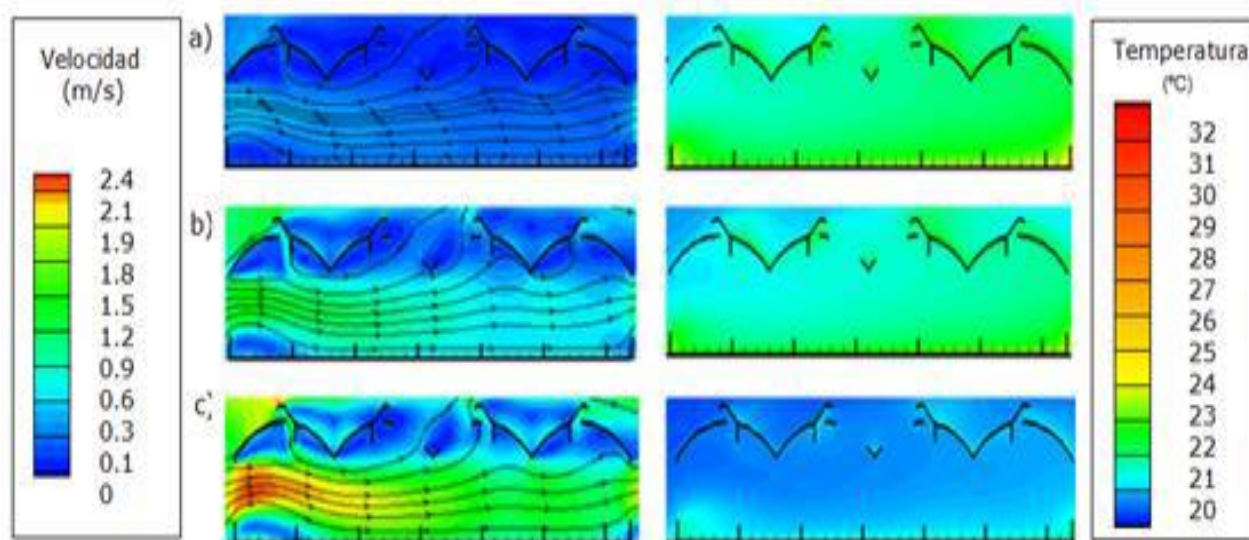


FIGURA 2. CONTORNOS CALCULADOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO (M S-1) Y DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA (°C) CALCULADOS MEDIANTE SIMULACIÓN CFD-2D

Para evaluar el efecto de las estructuras en la protección de las hortalizas cultivadas y en su producción, se debe generar información agroclimática en tiempo real a partir de la instalación de sensores agroclimáticos (a campo abierto y en el interior de las estructuras) para el monitoreo de las variables agroclimáticas. Las etapas de registro, transmisión, almacenamiento, despliegue y consulta de información (en tiempo real) son esenciales para el adecuado proceso de gestión de dicha información y su publicación en plataformas agroclimáticas y/o sistemas de información en la web, de fácil acceso a usuarios e interesados.

Algunas de las variables agroclimáticas a registrar tanto a campo abierto como al interior de las estructuras, son las siguientes:

- Temperatura del aire.
- Humedad relativa del aire.
- Velocidad y dirección del viento.
- Precipitación.
- Radiación solar/luminosidad y UV.
- Presión del aire.
- Humedad del aire.
- Radiación fotosintéticamente activa (PAR).
- Concentración de CO₂.

1.3 VARIABLES AGROCLIMÁTICAS DE INTERÉS

Entender el efecto del clima en el desarrollo y productividad de los cultivos requiere contar con información agroclimática, entendida como registros con referencia temporal y espacial de variables climáticas, agronómicas y fisiológicas, cuyo manejo ordenado y adecuado facilita su interpretación y posterior uso en la modelación de cultivos.

Teniendo en cuenta los anteriores referentes, un grupo de investigadores de Corpoica con el soporte de investigadores del *INTA – Costa Rica e IDIAP – Panamá*, han propuesto variables de interés agroclimático que sirvan de referente para generar estrategias de manejo agroclimático en sistemas de producción de hortalizas bajo ambientes protegidos.

Esta propuesta se ha consolidado en diferentes jornadas de intercambio de experiencias e información, que han permitido conocer los avances de cada país en la gestión de la información agroclimática y así generar una propuesta aplicable a los sistemas de producción bajo ambientes protegidos en ALC.

Durante estas jornadas se han discutido las variables, equipos o instrumentos para la medición, forma de medición, frecuencia de medición, almacenamiento de la información, control de calidad, análisis con la información generada. La anterior información se presenta en la **Error! Reference source not found.**

TABLA 1. VARIABLES DE INTERÉS AGROCLIMÁTICO

Variables	Equipos o instrumentos para la medición	Forma de medición	Frecuencia de medición	Almacenamiento de la información	Control de calidad	Análisis con la información generada
VARIABLES AGROCLIMÁTICAS						
Temperatura	Termómetro	La medición se hace mediante una estación meteorológica automática que contiene los sensores de medición para cada una de las variables. La estación se ubica afuera de la estructura y	Horaria	Inicialmente la información se almacena en la consola, la que permite	Los registros de la estación se deben someter sistemáticamente y periódicamente a un control de calidad, de tal manera que los datos se puedan considerar aptos	Estudio del comportamiento de las variables climáticas en la zona mediante análisis gráficos, descriptivos, frecuencia, indicadores, etc., que permitan especificar los datos o valores de entrada, de
Precipitación	Pluviómetro		Horaria			

Velocidad y dirección del viento	Anemómetro	almacena los datos meteorológicos del exterior y los envía de forma inalámbrica a una consola. La descarga de los datos se realiza desde un software y también se puede hacer transmisión a internet mediante un Vantage Connect o un Datalogger IP.	Horaria	guardar los datos por un tiempo, pero, cuando la memoria se ocupa, los registros se empiezan a sobrescribir, por tanto, los datos se deben descargar periódicamente a un PC. Si se tiene conexión a internet la información se puede descargar desde interfaz al PC.	para su posterior análisis. Por tanto, se propone realizar algunos filtros para identificar datos errores o no razonables, entre los que están: 1. Verificación de la coherencia interna. Análisis de las relaciones físicas que existen entre las variables climáticas. 2. Verificación de la coherencia temporal. Análisis de la variación del elemento climático en el tiempo. 3. Verificación de la coherencia espacial. Comparación con observaciones de otras estaciones de la zona.	tipo climático, en los modelos CFD (Computational Fluid Dynamics) para el diseño de las estructuras. De igual manera, esta información registrada periódicamente, debidamente procesada y almacenada durante el establecimiento de la estructura se utilizará para su validación y ajuste. Así como en la validación de la interacción cultivo–ambiente.
Radiación Solar	Piranómetro		Horaria			
Humedad Relativa	Higrómetro		Horaria			
Variables Agronómicas						
Especies que producen frutos (tomate, pimentón, pepino, berenjena, ahuyama, etc.) Rendimiento por planta (kg) y por m² (kg), # total de frutos por planta, # de frutos/m², peso fresco del fruto, % de frutos por planta 1a, 2a y 3ª categoría, tiempo total del ciclo productivo	Balanza electrónica, Pie de Rey	Se realizarán cosechas en todas las plantas de las parcelas, las cuales se ejecutarán con una periodicidad semanal. En cada cosecha, se recolectarán todos los frutos aptos a cosecha de acuerdo con las exigencias del mercado. además, se contabilizarán el número total de plantas producción por parcela al momento de la cosecha. El rendimiento de los genotipos se expresará en gramos por planta para la sumatoria de todas las cosechas.	Cuando haya frutos aptos a cosecha de acuerdo con las demandas del mercado, pintones o maduros	Los datos serán transcritos y procesados en Excel	Se aleatorizarán los tratamientos y las especies, con varias repeticiones y así conseguir con una alta probabilidad de cumplir las premisas para realizar un análisis de varianza.	Se analizarán los datos con métodos estadísticos descriptivos, análisis de varianza, pruebas de medias en aquellos tratamientos en los que se encuentren diferencias significativas y a través de análisis multivariado por componentes principales y por correspondencia, con el programa Infostat, versión estudiantil (Di Rienzo <i>et al.</i> 1998).
Especies que producen vainas (frijol, arveja, habichuela, habichuelín, habas) Rendimiento por planta y por m², # total de vainas por planta, tiempo total del ciclo productivo, rendimiento/	Balanza electrónica, Pie de Rey	Se realizarán cosechas en todas las plantas de las parcelas, las cuales se ejecutarán con una periodicidad semanal. En cada cosecha, se recolectarán todas las vainas aptas a cosecha por parcela, seleccionando aquellos que no hayan alcanzado la madurez fisiológica, pero, ya presentan la forma y tamaño típico del mismo, además, se contabilizará el número de plantas totales en producción por parcela	Cada que haya vainas en estado óptimo de cosecha dependiendo de las exigencias del mercado	Los datos serán transcritos y procesados en Excel Los datos serán transcritos y	Se aleatorizarán los tratamientos y las especies, con varias repeticiones y así conseguir con una alta probabilidad de cumplir las premisas para realizar un análisis de varianza.	Se analizarán los datos con métodos estadísticos descriptivos, análisis de varianza, pruebas de medias en aquellos tratamientos en los que se encuentren diferencias significativas y a través de análisis multivariado por componentes principales y por correspondencia con el programa Infostat, versión estudiantil (Di Rienzo <i>et al.</i> 1998).

GUÍA METODOLÓGICA

<p>planta (Kg), rendimiento/m² (Kg), peso fresco de vainas.</p>		<p>al momento de la cosecha. El rendimiento de los genotipos se expresará en gramos por planta para la sumatoria de todas las cosechas.</p>	<p>Cada vez que haya bulbos en estado óptimo de cosecha y de acuerdo con las exigencias del mercado</p>	<p>procesados en excel</p>		
<p>Especies que producen raíz (Zanahoria, arracacha, nabo, rábano, remolacha)</p>	<p>Balanza, Pie de Rey</p>	<p>Se realizará la cosecha una vez se haya cumplido el ciclo total del cultivo dependiendo de las condiciones agroecológicas de la región donde se siembre</p>	<p>Cada vez que haya raíces en estado óptimo de cosecha y de acuerdo con las exigencias del mercado</p>		<p>Se aleatorizarán los tratamientos y las especies, con varias repeticiones y así conseguir con una alta probabilidad cumplir las premisas para realizar un análisis de varianza.</p>	<p>Se analizarán los datos con métodos estadísticos descriptivos, análisis de varianza, pruebas de medias en aquellos tratamientos en los que se encuentren diferencias significativas y a través de análisis multivariado por componentes principales y por correspondencia con el programa Infostat, versión estudiantil (Di Rienzo et al. 1998).</p>
<p>Especies que producen bulbos (ajo, cebolla de bulbo, rabanos, col rabano, hinojo). Rendimiento: por planta o por área específica, tiempo total del ciclo productivo, peso promedio planta para el material que aplique</p>	<p>Balanza electrónica, Pie de Rey</p>	<p>Se realizará la cosecha una vez se haya cumplido el ciclo total del cultivo dependiendo de las condiciones agroecológicas de la región donde se siembre Se recolectarán todos los bulbos, aptos a cosecha por parcela, seleccionando también aquellos que aunque no hayan alcanzado la madurez fisiológica, ya presentan la forma y tamaño típico del mismo, además, se contabilizarán el número de plantas totales en producción por parcela al momento de la cosecha. El rendimiento de los genotipos se expresará en gramos por planta para la sumatoria de todas las cosechas.</p>	<p>Cada vez que haya raíces en estado óptimo de cosecha y de acuerdo con las exigencias del mercado</p>		<p>Se aleatorizarán los tratamientos y las especies, con varias repeticiones y así conseguir con una alta probabilidad cumplir las premisas para realizar un análisis de varianza.</p>	<p>Se analizarán los datos con métodos estadísticos descriptivos, análisis de varianza, pruebas de medias en aquellos tratamientos en los que se encuentren diferencias significativas y a través de análisis multivariado por componentes principales y por correspondencia con el programa Infostat, versión estudiantil (Di Rienzo et al. 1998).</p>
<p>Especies que producen hojas (espinacas, apio, cebolla de rama, cebollin, acelgas, cilantro, lechugas de hoja, etc Rendimiento: por planta o por área específica, tiempo total del ciclo productivo, peso promedio planta para el material que aplique</p>	<p>Balanza electrónica, Pie de Rey</p>	<p>Se realizarán cosechas en todas las plantas de las parcelas, las cuales se ejecutarán con una periodicidad de una a dos veces por semana de acuerdo a las demandas del mercado y calidad del consumidor. En cada cosecha, se recolectarán todas las hojas aptas a cosecha por parcela, de la cosecha. El rendimiento de los genotipos se expresará en gramos por planta para la sumatoria de todas las cosechas.</p>		<p>Los datos serán transcritos y procesados en Excel</p>	<p>Se aleatorizarán los tratamientos y las especies, con varias repeticiones y así conseguir con una alta probabilidad cumplir las premisas para realizar un análisis de varianza.</p>	<p>Se analizarán los datos con métodos estadísticos descriptivos, análisis de varianza, pruebas de medias en aquellos tratamientos en los que se encuentren diferencias significativas y a través de análisis multivariado por componentes principales y por correspondencia, con el programa Infostat, versión estudiantil (Di Rienzo et al. 1998).</p>

<p>Especies que producen cabeza (repollo blanco, repollo morado, lechuga batavia) Rendimiento por planta o por m², diámetro y longitud de cabeza, tiempo total del ciclo productivo, peso promedio por planta</p>	<p>Balanza electrónica, Pie de Rey</p>	<p>Se realizarán cosechas en todas las plantas de las parcelas, las cuales se ejecutarán con una periodicidad semanal. En cada cosecha, se recolectarán todas las cabezas aptas a cosecha por parcela, seleccionando también aquellas que no hayan alcanzado la madurez fisiológica, pero, ya presentan la forma y tamaño de acuerdo con las demandas del mercado, además, se contabilizará el número de plantas totales en producción por parcela al momento de la cosecha. El rendimiento de los genotipos se expresará en gramos por planta para la sumatoria de todas las cosechas.</p>	<p>Hojas en estado tierno, de acuerdo con las demandas del mercado</p>	<p>Los datos serán transcritos y procesados en Excel</p>	<p>Se aleatorizarán los tratamientos y las especies, con varias repeticiones y así conseguir con una alta probabilidad cumplir las premisas para realizar un análisis de varianza.</p>	<p>Se analizarán los datos con métodos estadísticos descriptivos, análisis de varianza, pruebas de medias en aquellos tratamientos en los que se encuentren diferencias significativas y a través de análisis multivariado por componentes principales y por correspondencia, con el programa Infostat, versión estudiantil (Di Rienzo et al. 1998).</p>
<p>Especies que producen flor (Brócoli, coliflor, alcachofa) Rendimiento por planta y por m², tiempo total del ciclo productivo, peso. Longitud y diámetro de cabeza</p>	<p>Balanza electrónica, Pie de Rey</p>	<p>Se realizarán cosechas en todas las plantas de las parcelas, las cuales se ejecutarán con una periodicidad semanal. En cada cosecha, se recolectarán todas las flores aptas a cosecha por parcela, seleccionando aquellas que no hayan alcanzado la madurez fisiológica, pero, ya presentaban la forma y tamaño típico del mismo, además, se contabilizaran el número de plantas totales en producción por parcela al momento de la cosecha. El rendimiento de los genotipos se expresará en gramos por planta para la sumatoria de todas las cosechas.</p>		<p>Los datos serán transcritos y procesados en excel</p>	<p>Se aleatorizarán los tratamientos y las especies, con varias repeticiones y así conseguir con una alta probabilidad cumplir las premisas para realizar un análisis de varianza.</p>	<p>Se analizarán los datos con métodos estadísticos descriptivos, análisis de varianza, pruebas de medias en aquellos tratamientos en los que se encuentren diferencias significativas y a través de análisis multivariado por componentes principales y por correspondencia, con el programa Infostat, versión estudiantil (Di Rienzo et al. 1998).</p>

Asimismo, durante el desarrollo de este trabajo, los investigadores acordaron la importancia de discutir sobre variables asociadas a la fisiología, fenología y a la calidad, para ello también se definieron el tipo de variable, equipos o instrumentos para la medición, forma de medición. La anterior información se presenta en la Tabla 2.

TABLA 2. VARIABLES FISIOLÓGICAS, FENOLÓGICAS Y DE CALIDAD

Variables	Equipos o instrumentos para la medición	Forma de medición
Variables fenológicas		
Número de días a desarrollo vegetativo, floración, y fructificación.	No aplica	Se tomarán los datos del número de días en el que se cumple cada estadio fenológico para el 50% de las plantas sembradas en cada una de las repeticiones. Para ello, se utilizará el descriptor de los Estadios de las plantas mono-y dicotyledóneas (Meier, 2001), con adaptaciones, como se describe a continuación: Estadio 19. Desarrollo de hojas (tallo principal). Nueve o más hojas del tallo principal, desplegadas. Estadio 51. Aparición del órgano floral. Primer botón floral visible. Estadio 61. Floración. Primera flor abierta. Estadio 71. Formación del fruto. Primer fruto alcanza la forma y el tamaño típico.
Variables fisiológicas		
Potencial hídrico xilemático (MPa)	Bomba de Scholander o cámara de presión (Scholander et al., 1965). Se requiere N.	Se medirá en las horas comprendidas entre las 11:00 y 13:00; se tomarán de la quinta hoja totalmente expandida en el sentido ápice base en cada unidad experimental, previamente tapada con papel de aluminio por 30 minutos (Celedón et al., 2012), para luego ser llevada al equipo
Grado de verdor (SPAD)	Medidor de clorofila SPAD 502 Konica Minolta	Está asociado con el contenido de clorofila en la hoja. Se tomará de la quinta hoja totalmente expandida en el sentido ápice base en cada unidad experimental.
Análisis de parámetros fisicoquímicos (FQ)	Balanza Refractómetro	Para el pH y la acidez se usarán los métodos potenciométricos reportados en la AOAC 981.12 (AOAC, 1990). Respecto a los sólidos solubles referidos como °Brix, se utilizará el equipo de medición refractométrica, por su parte, la determinación de la materia seca se llevará a cabo por el método gravimétrico de secado por convección forzada en estufa hasta peso constante, descrito por la AOAC 934.01 (AOAC, 1990).
Análisis físicos.	Balanza Pie de Rey Penetrómetro	En los análisis físicos previstos se encuentran: Peso de hortaliza con balanza de precisión, dimensiones (diámetros y longitudes) mediante medición clásica con pie de rey y textura instrumental con penetrómetro.
Análisis sensoriales.	No aplica	Se propone un análisis sensorial de los atributos de aroma, apariencia, sabores: dulce, amargo y salado, además de presencia de sabores extraños. Lo anterior, se realizará mediante una prueba descriptiva de calificación con escalas no estructuradas con la participación de 10 panelistas semi-entrenados. Tanto los análisis físicos, fisicoquímicos y sensoriales se le realizarán con tres repeticiones para cada hortaliza y cada sistema de cultivo (condiciones protegidas y libre exposición).
Análisis de vida útil.	Balanza Pie de Rey Penetrómetro	Una vez realizados los análisis anteriormente mencionados, se escogerán dos hortalizas (una climatérica y una no climatérica) por cada sistema de cultivo evaluado, con el fin de realizar la cinética de deterioro basada en un factor fisicoquímico o sensorial. Este análisis se realizará tomando muestras diarias en donde se evaluarán dichos parámetros y obtener las variables cinéticas de deterioro y estimar la vida útil de cada hortaliza.

2. INDICADORES DE INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

2.1 GENERALIDADES

El enfoque de Intensificación sostenible (SI) ofrece la oportunidad de mostrar de una manera más equilibrada los beneficios económicos, medioambientales y sociales de la agricultura. La intensificación agrícola puede ser definida como el aumento de la producción por unidad de insumo (tierra, capital, mano de obra, etc.) por unidad de tiempo (Musumba, Grabowski, Palm, & Snapp, 2017).

Por lo anterior, y entendiendo que se ha considerado la agricultura bajo condiciones protegidas como una oportunidad para que pequeños agricultores puedan reconvertir y diversificar sus sistemas de producción y así lograr modernas zonas que mejorarán la calidad y productividad de sus productos agrícolas, se vuelve necesario definir indicadores que puedan medir los beneficios económicos, sociales y ambientales del uso de este tipo de tecnologías. De esta manera, se desarrolló una metodología que permitiera avanzar en la identificación de indicadores de intensificación.

En este sentido, un grupo de investigadores **del Instituto de Sistemas Alimentarios Sostenibles de la Universidad de Florida** han desarrollado un manual de indicadores de intensificación sostenible, el cual brinda orientación para estimar los indicadores y métricas con base en los objetivos de un proyecto. Este manual está disponible en el https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/90523/ftf_guide_oct2017.pdf?sequence=1.

Para desarrollar este referente, los autores han explorado la literatura e interactuado con otros científicos, agricultores y otros actores para obtener una base de indicadores relevantes y luego hacer un análisis de la precisión y la facilidad de medición.

La iniciativa de conocer a profundidad esta metodología, se fundamenta en la necesidad de generar una base de indicadores que permita medir el impacto de opciones tecnológicas asociadas a la agricultura en ambientes protegidos, lo anterior, en el marco del proyecto ***“Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos en zonas tropicales: opción de intensificación sostenible de la agricultura familiar en el contexto de cambio climático en ALC***, (algunos de los indicadores propuestos podrías ser medidos en el marco de este proyecto)

De esta manera y para orientar este trabajo, se extendió la invitación a Mark Musumba, investigador y desarrollador de la metodología, para presentar este enfoque de análisis en un encuentro de investigadores de CORPOICA, INTA E IDIAP. Durante este espacio el Dr. Musumba presentó los principales elementos teóricos y prácticos de la metodología, a partir de los cuales se formularon un conjunto de indicadores base.

2.2 MARCO CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE

La **Intensificación Sostenible (IS)** se enfoca en mejorar el uso eficiente de los recursos para la agricultura, con el objetivo de producir más alimentos en la misma cantidad de área, reduciendo impactos negativos desde lo ambiental y social. Este concepto se originó en la década de los noventa en el contexto de cómo lograr mejores rendimientos a largo plazo en ambientes frágiles de África (Pretty, 1997; Reardon et al., 1995, retomados por Musumba et al., 2017).

Los sistemas de producción convencionales pueden tener dimensiones sociales complejas que afectan la sostenibilidad. Por el contrario, la IS a menudo se presenta como una solución a la inseguridad alimentaria y la malnutrición. Sin embargo, lograr esos objetivos requiere una distribución justa de los beneficios netos del aumento de la productividad. Por esta razón, las intervenciones de la IS deben considerar explícitamente condiciones de equidad, alivio de la pobreza y empoderamiento de género (Loos et al., 2014 retomado por Musumba et al., 2017).

Desafortunadamente, el término "**intensificación sostenible**" se usa a menudo para describir cualquier tipo de intensificación agrícola que pueda tener un potencial beneficio ambiental (Godfray, 2015 retomado por Musumba et al., 2017). Sin embargo, este marco de indicadores pretende proporcionar medios prácticos para considerar las múltiples dimensiones de la sostenibilidad, partiendo del objetivo principal de la innovación o proyecto y la identificación de varias metas bajo cada dominio/dimensión que luego se utilizarán para seleccionar indicadores y evaluar la innovación (Musumba et al., 2017).

■ DOMINIOS DE INTENSIFICACIÓN

Luego de la revisión de muchas experiencias para evaluar el efecto y la sostenibilidad de la intensificación de la producción, Musumba et al., (2017) proponen cinco dominios de intensificación sostenible de la agricultura, **productivo, económico, ambiental, humano, y social**.

- **Dominio productivo:** El incremento de la productividad es la característica esencial de la intensificación, "**incrementar la producción por unidad de insumo en especial la tierra**". Otros insumos asociados con la intensificación tales como mano de obra, calidad del agua, uso de fertilizantes y capital son capturados en el dominio económico.
- **Dominio económico:** Este dominio se enfoca en medir la rentabilidad de las actividades agrícolas y los retornos a los factores de producción. También, incluye indicadores relacionados con la productividad de los insumos incluyendo agua, nutrientes, mano de obra, capital e indicadores de mercado.

- **Dominio ambiental:** Este dominio se enfoca en la evaluación de los factores ambientales (clima, suelo, biodiversidad) en los que se apoya la actividad agrícola y los servicios ambientales afectados en forma directa por la actividad agrícola.
- **Dominio humano:** Este dominio incluye indicadores asociados al individuo y su hogar, incluyendo estado nutricional, disponibilidad y acceso a los alimentos y la capacidad de aprendizaje y adaptación.
- **Dominio social:** Este dominio se enfoca en las relaciones de género dentro del hogar, equidad en las relaciones entre grupos sociales en una comunidad o en un paisaje y el nivel de acción colectiva.

■ ESCALAS DE ANÁLISIS

La evaluación de la sostenibilidad requiere la observación de parámetros a una escala definida y determina la unidad de análisis, la estrategia de muestreo y los protocolos a ser usados. En esta propuesta se proponen cuatro escalas de análisis: parcela, finca, hogar y paisaje. El paisaje puede ser definido como una unidad geográfica (municipio), biofísica (cuenca) o social (comunidad). La observación de una sola escala puede ser útil para análisis específicos, pero, no permitirá evaluar las interacciones entre escalas y los trade-off entre ellas (Musumba et al., 2017).

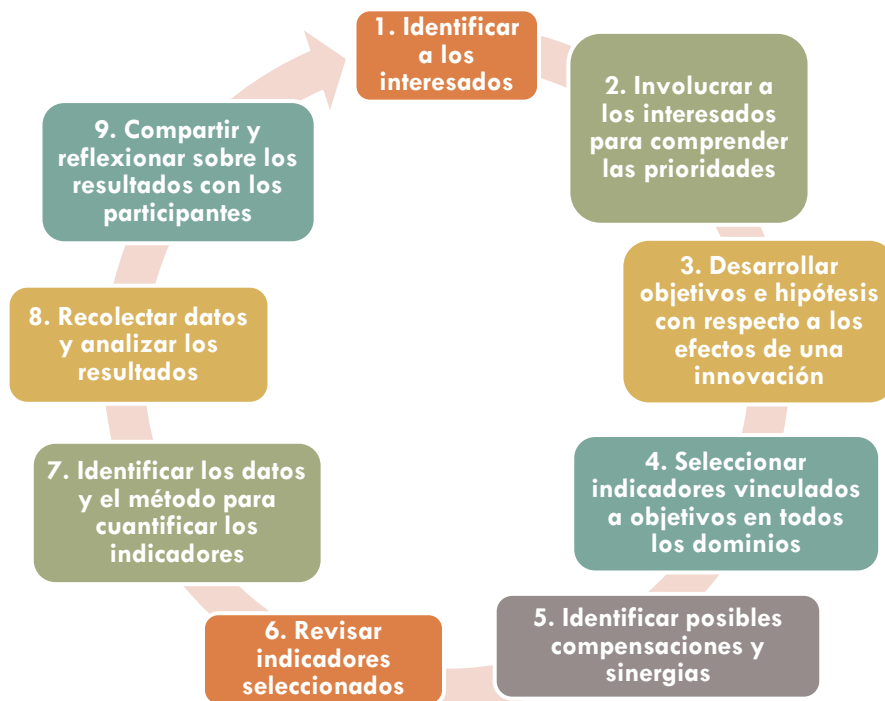
■ PROCESO DE SELECCIÓN DE INDICADORES

La selección de un conjunto básico de indicadores es un proceso esencial que determina qué y cómo medir a lo largo del proyecto. Esto implica un compromiso entre las partes interesadas y los científicos que trabajan en diferentes disciplinas. Este proceso puede traer puntos de vista divergentes y perspectivas, pero, asegurará una mejor comprensión de los diferentes aspectos de la sostenibilidad y dará lugar a un sólido conjunto de indicadores. El proceso de selección de indicadores debe ser transparente y bien definido, y robusto para asegurarse de que es creíble (Latruffe et al, 2016; Dale & Beyeler, 2001, retomados por Musumba et al., 2017). Es crítico que la selección de indicadores sea equilibrada para considerar todos los ámbitos de la sostenibilidad y garantizar que las partes interesadas participen (Musumba et al., 2017). Estos autores, han detallado los pasos de la siguiente manera:

- **Paso 1. Identificar las partes interesadas:** Las partes interesadas en el proceso son susceptibles de cambiar en función de la etapa de desarrollo de la innovación. En las primeras etapas, un pequeño grupo de investigadores pueden ser los actores clave que discuten cuestiones de investigación e intervenciones. Cuando una innovación ya ha sido ampliamente promovida el trabajo debe incluir un mayor número de

FIGURA 3. PROCESO DE SELECCIÓN DE INDICADORES Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS A LOS PARTICIPANTES

participantes, como usuarios finales (agricultores), los que han promovido la innovación (agentes de extensión), y otros grupos afectados (representantes del sector privado, responsables políticos, jefes, cooperativas de agricultores, etc.) (Musumba et al., 2017).



- **Paso 2. Definir la participación de las partes interesadas y comprender sus prioridades:** Organizar una reunión involucrando a los interesados en el proceso y seguir los siguientes pasos:
 - Introducir el marco conceptual de la Intensificación sostenible **IS** – centrarse en los “principios” y los cinco dominios de la IS que subyacen en su marco teórico.
 - Discutir las implicaciones de los dominios y los indicadores que se deben considerar en cada dominio. Garantizar que las personas tienen una copia de la lista de indicadores por dominio de la sección 4 de esta guía de evaluación de la IS.
 - Preguntar a los participantes cuáles componentes de la intensificación sostenible son de mayor interés y cuáles son prioritarios para ellos (Musumba et al., 2017) .

- **Paso 3. Desarrollar objetivos e hipótesis sobre los efectos de una innovación:** Discutir la meta y los objetivos del proyecto con los investigadores y el grupo de interés e identificar las preguntas de investigación y las cuestiones críticas que el proyecto/innovación abordará. Desarrollar hipótesis sobre cómo la innovación se relacionaría con los objetivos y sub-objetivos en los cinco dominios (Musumba et al., 2017).

- **Paso 4. Seleccione indicadores vinculados a los objetivos a través de dominios:** En primer lugar, llene la primera columna de la tabla con el objetivo principal de la innovación y los objetivos específicos a ser alcanzados por dominio. A

continuación, identificar los indicadores y las medidas métricas que identificarán adecuadamente los objetivos específicos enumerados. Por último, elegir los métodos de registro de datos que serán apropiados y necesarios para calcular estos indicadores. La consideración de los métodos de recolección en las fases tempranas del proyecto ayudará a asegurar que la evaluación sea factible en función de los recursos disponibles, ver Tabla 3 (Musumba et al., 2017). A manera de ejemplo se presenta el siguiente cuadro.

Defina el objetivo principal:				
Hay objetivos específicos que necesitan ser alcanzados en el proceso de intensificación. Identifique los principales que deben ser alcanzados para cada dominio y el método de medición.				
Dominio	Objetivos específicos	Indicadores de los objetivos	Método de medición	Escala de la evaluación (lote, familia, etc)
Productivo				
Económico				
Ambiental				
Humano				
Social				

- **Paso 5. Identificar posibles compensaciones y sinergias:** Discutir cómo las compensaciones y las sinergias se relacionan con las metas y objetivos priorizados por los grupos de interés.
- **Paso 6. Revisar indicadores seleccionados:** Discutir cualquier indicador que deba ser añadido sobre la base de las compensaciones y sinergias identificadas en el Paso 5. Si es posible, los miembros deben proporcionar la oportunidad de discutir sus indicadores propuestos y trabajar hacia un consenso en el que deberán incluirse los indicadores. Refinar la lista de indicadores por dominio. Asegúrese de discutir qué indicadores no fueron seleccionados y por qué, sobre todo si hay muy pocos seleccionados para un dominio dado.
- **Paso 7. Identificar datos y métodos para cuantificar indicadores:** Discutir cómo se implementará la innovación y quien recogerá la información de los indicadores y si hay experiencia para recoger y calcular los indicadores, y si el presupuesto es suficiente para el trabajo.
- **Paso 8. Recoger información y analizar resultados**
- **Paso 9. compartir y reflexionar sobre los resultados con las partes interesadas:** Una vez que los datos han sido recogidos, es importante compartir los resultados

del análisis con los interesados. Si es posible, los datos deben ser evaluados como tendencias en el tiempo.

El ciclo se puede repetir para mejorar aún más la evaluación de la innovación. Nuevos actores pueden ser invitados, nuevas prioridades pueden surgir de las partes interesadas y nuevas hipótesis pueden ser generadas con base a la experiencia adquirida (Musumba et al., 2017).

2.3 INDICADORES SELECCIONADOS

Luego de una discusión profunda de la propuesta de indicadores presentada en la reunión por el representante de la Universidad de Florida, para cada uno de los dominios ya detallados en el numeral anterior.

Actualmente, con el apoyo de Fontagro, Corpoica - Colombia, Inta – Costa Rica, Idiaf – República Dominicana e Idiap – Panamá, se encuentran adelantando el proyecto ***Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos en zonas tropicales: opción de intensificación sostenible de la agricultura familiar en el contexto de cambio climático en ALC***, con el cual se espera contribuir a la generación de innovaciones de intensificación sostenible en horticultura bajo condiciones de ambiente protegido para reducir la vulnerabilidad al cambio climático en sistemas de agricultura familiar.

Investigadores de las instituciones anteriormente mencionadas, han considerado pertinente la aplicación de una metodología que permita evaluar el efecto y la sostenibilidad de este tipo de intervenciones, especialmente en zonas tropicales en donde los casos de éxito son escasos.

No obstante, este proyecto está formulado (en esta etapa) para hacer validaciones en centros de investigación, dicha iniciativa cuenta con un componente de gestión del conocimiento muy robusto que permitirá una profunda interacción con los agricultores desde las etapas más tempranas de la validación, por lo que incorporar elementos de esta metodología resultaría fundamental para conocer las percepciones de los beneficiarios y los posibles impactos de las innovaciones.

Por lo anterior, el grupo de investigadores luego de espacios de discusión presenciales y virtuales se ha dado a la tarea de formular una primera base de indicadores (Tabla 3) para cada uno de los dominios ya detallados en el numeral anterior.



TABLA 3. INDICADORES PROPUESTOS

Objetivo principal: contribuir a la generación de innovaciones de intensificación sostenible IS en horticultura bajo condiciones de ambiente protegido para reducir la vulnerabilidad al cambio climático en sistemas de agricultura familiar.					
Dominio	Objetivos específicos	Sub-Objetivos	Indicadores de los objetivos	Método de medición	Escala de la evaluación (lote, familia, etc.)
Productivo	Modelar y validar innovaciones que favorecen la IS de la horticultura en ambientes de condiciones protegidas en el contexto del cambio climático en ALC	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar producción: hojas, frutos, etc. • Evaluar la producción de biomasa y residuos. • Determinar la estabilidad de los rendimientos. • Estimar la eficiencia de uso de insumos. • Determinar el efecto de las condiciones protegidas sobre la fenología del cultivo. • Determinar la eficiencia en el uso del agua. • Intensificación de la producción (fenología) • Pérdida postcosecha • Calidad postcosecha 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento (kg/ha) • Producción de residuos (kg/ha) • Productividad en el tiempo • Intensidad de los cultivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediciones de rendimiento • Productividad en el tiempo • Números de ciclos de cultivos en un año 	<ul style="list-style-type: none"> • Kg/ha • Kg/ha • Mediciones directas
Económico	Caracterizar los sistemas de producción hortícola y sus respectivas cadenas de valor en América Latina y el Caribe	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar las cadenas de valor y mapeo de actores relevantes • Realizar estudios económicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de la cadena de valor • Mapeo de actores • Rentabilidad • Diversificación de los ingresos • Orientación de los mercados • Valor agregado de la producción 	<ul style="list-style-type: none"> • Talleres, encuestas y entrevistas en donde participen agricultores y otros actores relevantes de la cadena • Beneficio neto (ingreso neto total de todas las actividades agrícolas) • Índices de diversificación • % de la tierra de los cultivos comerciales • % de la producción vendido • % de las tierras en cultivos comerciales 	<ul style="list-style-type: none"> • Municipio • Finca

<p>Ambiental</p>	<p>Modelar y validar innovaciones que favorecen la intensificación sostenible de la horticultura en ambientes de condiciones protegidas en el contexto del cambio climático en ALC</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar la caracterización climática de los sitios piloto • Realizar la modelación de prototipos de estructuras • Evaluar el efecto de los parámetros climáticos al interior de la estructura (temperatura, Humedad relativa, radiación solar, CO₂) temperatura sobre el crecimiento y la producción del cultivo. • Estimar la actividad y biomasa microbiana del suelo o sustrato bajo la estructura establecida, para determinar el índice de reserva de carbono • Establecer el balance de nutrientes en el sustrato empleado. • Estimar el estado de nutricional de cada especie en momentos claves de su fenología. • Evaluar parámetros físicos y químicos del suelo o sustrato en cada ciclo de cultivo. • Evaluar la humedad del sustrato bajo la estructura establecida. • Evaluar el flujo de GEI bajo la estructura establecida. • Grado de Diversificación de la producción • Uso de de pesticidas • Biodiversidad de insectos pesticidas??. • Huella hídrica • Huella de carbono • Uso eficiente del agua • Uso eficiente de nutrientes • Análisis de ciclo de vida de la estructura • Uso eficiente de pesticidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilidad climática en la zona • mg C-CO₂/10g de suelo • Diferencia entre concentración de nutrientes en sustrato, requerimientos nutricionales y concentración de nutrientes en solución hidropónica. • Concentración foliar de macro y micronutrientes. • Estimación de propiedades físicas (Da, EA, retención de humedad, conductividad hidráulica) y propiedades químicas (fertilidad completa). • Tensión del suelo. • Flujos de óxido nitroso y metano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consecución de información las estaciones disponibles en la zona de estudio • Controles de calidad de los datos • Comportamiento histórico de las variables con base en un escenario promedio, un escenario de exceso y un escenario de déficit • . Concentración de Carbono en el suelo • Determinación de macro y micronutrientes • Análisis de tejido vegetal. • Análisis físico y químico de suelo • Tensiómetro • Cámara estática cerrada 	<ul style="list-style-type: none"> • Municipio • Finca • Ingrediente activo aplicado por hectárea • Transectos de insectos
-------------------------	--	--	---	--	--

		<ul style="list-style-type: none"> • Insectos benéficos • Niveles de insectos 			
Humano	Caracterizar los sistemas de producción hortícola y sus respectivas cadenas de valor en América Latina y el Caribe	<ul style="list-style-type: none"> • Nutrición y Seguridad alimentaria 	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de recuento de la inseguridad alimentaria (Pinzón, 2013) • Índice de brecha de la inseguridad alimentaria (Pinzón, 2013) • Medida de vulnerabilidad alimentaria por ingreso (línea de pobreza) (Pinzón, 2013) 	Encuesta/Entrevista	Hogar
Social	Caracterizar los sistemas de producción hortícola y sus respectivas cadenas de valor en América Latina y el Caribe	Equidad de género Multiculturalismo	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo de finca con aspectos de género (Geilfus, 2002) • Población que adscribe a una etnia (Feres, 2007) 	Encuesta/Entrevista	Hogar



REFERENCIAS

Boshell, F (2014). Análisis general de la gestión de información agroclimática en Colombia [diapositivas de PowerPoint]. Recuperado: Taller de Gestión de la Información Agroclimática en Colombia. Corpoica Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera – Colombia."

Céledon J., Gil, P., Ferrereyra, R., Maldonado, P. y Barreras, C. 2012. Sensitivity and variability of two plant water stress indicators: exploring criteria for choosing a plant monitoring method for avocado irrigation management. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72 (3): 379-387.

Feres, J. C. (2007). *Un sistema de indicadores para el seguimiento de la cohesión social en América Latina*.

Geilfus, F. (2002). *80 Herramientas para el desarrollo participativo*. Sidalc.Net. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Meier, U. (2001). Estadios de las plantas mono-y dicotiledóneas. BBCH Monografía. Limburgerhof: Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura (BBCH).

Musumba, M., Grabowski, P., Palm, C., & Snapp, S. (2017). Guide for the Sustainable Intensification Assessment Framework. Retrieved from [http://www.k-state.edu/siil/documents/docs_siframework/Sustainable Intensification Assessment Methods Manual - 10.24.17c.pdf](http://www.k-state.edu/siil/documents/docs_siframework/Sustainable%20Intensification%20Assessment%20Methods%20Manual%20-10.24.17c.pdf)

Pinzón, N. (2013). *Metodología y conjunto de indicadores para la evaluación de la situación alimentaria de las familias cafeteras colombianas*.

Scholander, P., Bradstreet, E., Hemmingsen, E. y Hammel, H. 1965. Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148 (3668): 339–346.