



Entidades ejecutoras



Papa, Familia y Clima

Proyecto Regional

Buenas Prácticas de Agricultura
Climáticamente Inteligente (BPA-CI),
en sistemas agroalimentarios
andinos basados en papa

Compendio de los seminarios virtuales
realizados del 13 de abril al 8 junio de 2021

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2021



Buenas Prácticas de Agricultura Climáticamente Inteligente (BPA-CI), en sistemas agroalimentarios andinos basados en papa por IICA se encuentra publicado bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-Compartir igual 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO)
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>)
Creado a partir de la obra en www.iica.int

El Instituto promueve el uso justo de este documento. Se solicita que sea citado apropiadamente cuando corresponda.

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio web institucional en <http://www.iica.int>.

Coordinación editorial: Luis Morán, Coordinador Técnico y Especialista en Agronegocios, IICA Perú; Vanessa Vargas, Consultora, IICA Perú; Julio Escobar, Especialista en Biotecnología y Bioseguridad, IICA Ecuador

Corrección de estilo: Javier Ágreda

Diagramado: José Torres

Diseño de portada: José Torres

Impresión: Imprenta del IICA

Buenas Prácticas de Agricultura Climáticamente Inteligente (BPA-CI), en sistemas agroalimentarios andinos basados en papa / compilado por Miroslava González y Andrea Enríquez. – San José, C.R.: IICA, 2021.

67 p.; 21 x 16 cm.

ISBN: 978-92-9248-951-9

1. Agricultura climáticamente inteligente 2. Buenas prácticas agrícolas 3. Sistemas agroalimentarios 4. Papa 5. Calidad de las semillas 6. Mitigación del cambio climático 7. Sostenibilidad 8. Ordenación de recursos 9. Gestión de lucha integrada 10. Mejoramiento genético 11. Región Andina 12. Seminarios I. González, Miroslava, comp. II. Enríquez, Andrea, comp. III. IICA IV. Título

AGRIS
Q01

DEWEY
630

La información presentada en este documento se basa en las ponencias de los expertos que participaron en la serie de seminarios regionales “Buenas Prácticas de Agricultura Climáticamente Inteligente (BPA-CI), en sistemas agroalimentarios andinos basados en papa”, realizados del 13 de abril al 8 de junio de 2021.

Los seminarios se desarrollaron en forma virtual y fueron organizados por el Centro Internacional de la Papa (CIP) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), en el marco del proyecto “Papa, Familia y Clima”.

El resumen y la compilación de los contenidos de las diferentes ponencias estuvieron a cargo de Miroslava González y Andrea Enríquez. Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de las instituciones organizadoras de este seminario.



CONTENIDO

PRESENTACIÓN	6
SEMINARIO 1	
INTRODUCCIÓN A LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTES	8
Cambio climático y agricultura	8
Proyecciones e impactos en los sistemas andinos	10
Estrategias frente a los impactos del cambio climático	10
Agricultura climáticamente inteligente (ACI) en los Andes y Chile	11
Comentario general	12
SEMINARIO 2	
USO DE SEMILLA DE CALIDAD DE VARIEDADES BIEN ADAPTADAS. PARTE 1: RECURSOS GENÉTICOS	14
Generación de variedades de semillas resistentes	14
Selección participativa de variedades de papa (SPV) con diseño Mamá y Bebé	14
Evaluación: componentes y métodos	16
Etapas para implementar el diseño Mamá y Bebé	16
Mejoramiento genético de la papa frente a factores bióticos y abióticos	17
Comentario general	18
SEMINARIO 3	
USO DE SEMILLA DE CALIDAD DE VARIEDADES BIEN ADAPTADAS. PARTE 2: GESTIÓN DE SEMILLA	20
Introducción	20
Manejo integrado de semillas	21
Herramientas para estudiar sistemas de semillas y mejorarlos	24
Comentario general	25
SEMINARIO 4	
SISTEMAS ALIMENTARIOS Y AGROBIODIVERSIDAD PARA LA ADAPTACIÓN Y LA MITIGACIÓN CLIMÁTICA	28
Iniciativa andina por la agrobiodiversidad	28
Retos de los sistemas alimentarios	28
Sistemas alimentarios sostenibles	29
La investigación de sistemas	31
Agrobiodiversidad y sistemas alimentarios	32
Comentario general	33
SEMINARIO 5	
MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS	36
Manejo integrado del tizón tardío de la papa	36

Prácticas climáticamente inteligentes para el gorgojo de los Andes	37
Manejo integrado de la polilla de la papa en Bolivia	38
Manejo integrado de la punta morada de papa en Ecuador	39
Comentario general	40
SEMINARIO 6	
MEJOR USO Y GESTIÓN DEL AGUA	42
Desafío global de insuficiencia de agua	42
Métodos de riego eficientes en el uso de agua	42
Modelación para evaluar y predecir los requerimientos de agua	43
Comentario general	45
SEMINARIO 7	
GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SUELO Y DE LA TIERRA	48
Indicadores de calidad del suelo	48
Salud del suelo en sistemas basados en papa	48
Microbiología del suelo: el uso de biofertilizadores	49
Materia orgánica y manejo de la salud del suelo	50
Uso de biofertilizantes en cultivos andinos de Bolivia	51
Huacho Rozado: Sistema de Labranza Reducida en Papa	52
Comentario general	52
SEMINARIO 8	
TECNOLOGÍAS PARA LA TOMA DE DECISIONES	54
Uso de ILCYM en un sistema de alerta temprana	54
Sistema de apoyo a la decisión (SAD) para el control de lancha	55
Uso de nanocomputadoras para medir variables climáticas	57
Comentario general	57
SEMINARIO 9	
PRIORIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS DE AGRICULTURA SOSTENIBLE ADAPTADAS AL CLIMA	60
Agricultura climáticamente inteligente (Agricultura Sostenible Adaptada al Clima - ASAC)	60
Marco de priorización ASAC	61
Estudio de caso MP-ASAC: Guatemala - Corredor Seco Centroamericano	63
Territorios Sostenibles Adaptados al Clima (TeSAC) y Mesas Técnicas Agroclimáticas (MTA)	63
Comentario general	64
BIBLIOGRAFÍA	65

PRESENTACIÓN

El Centro Internacional de la Papa (CIP) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) llevaron a cabo la serie de seminarios virtuales “Buenas Prácticas de Agricultura Climáticamente Inteligente (BPA-CI), en torno a sistemas agroalimentarios andinos basados en papa”. Estos seminarios se desarrollaron en el marco del proyecto “Papa, Familia y Clima”¹ que es financiado por la Unión Europea a través del Programa Euroclima+, Componente Producción Resiliente de Alimentos, ejecutado por GIZ y Expertise France.

La serie de seminarios se realizó en forma virtual del 13 de abril al 8 de junio de 2021, y tuvo los siguientes objetivos:

- Ampliar la base de conocimientos sobre prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligente aplicables a la producción de papa, en torno a sistemas agroalimentarios andinos basados en papa.
- Identificar los pasos a seguir y las lecciones a considerar en los procesos de adopción de prácticas de agricultura climáticamente inteligente para la producción de papa en sistemas agroalimentarios andinos basados en papa.
- Valorar la importancia de la implementación de prácticas de agricultura climáticamente inteligente para mejorar la resiliencia y productividad de la agricultura familiar en sistemas alimentarios basados en papa.

Se matricularon en el proceso de capacitación participantes de Perú, Bolivia y Ecuador, principalmente, quienes tuvieron la oportunidad de conocer fundamentos técnicos, prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligente aplicables a la producción de papa, en torno a sistemas agroalimentarios andinos basados en este importante cultivo.



La metodología aplicada en la serie de seminarios giró en torno a dos herramientas de aprendizaje: sesiones técnicas desarrolladas en tiempo real (a través de la plataforma Zoom), y foros de debate desarrollados de manera asincrónica en la plataforma [Gestión Participativa del IICA en Perú](#).

El presente compendio incluye el contenido de los nueve seminarios celebrados, en los que participaron 23 ponentes de Ecuador, Perú, Bolivia, Colombia y Chile.

El resumen y la compilación de los contenidos de las diferentes ponencias estuvieron a cargo de Miroslava González y Andrea Enríquez. El CIP y el IICA agradecen a ambas este aporte, así como a cada uno de los ponentes, participantes e involucrados en la organización de los seminarios.

Esperamos que este material sea aprovechado en nuevas acciones de difusión, capacitación e intercambio de experiencias. Y también en los programas, proyectos y servicios de personas e instituciones con las que compartimos el objetivo de lograr una agricultura familiar más próspera, sostenible y resiliente.

¹ Biodiversidad y buenas prácticas de agricultura climáticamente inteligente para mejorar la resiliencia y productividad de la agricultura familiar en sistemas alimentarios basados en papa.



SEMINARIO 1

INTRODUCCIÓN A LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTES²

PONENTES



Kelly Witkowski

Gerente del Programa de Cambio Climático y Recursos Naturales del IICA.



Andrea Carolina Borda

Especialista en Recursos Naturales y Cambio Climático del IICA en Colombia.



Fernando Barrera

Especialista en Extensión Agrícola del IICA.



Bruno Condori

Consultor del IICA en Bolivia.

² Fecha de la exposición: 13 de abril de 2021. Forma parte del módulo 1, el cual lleva el mismo nombre que el Seminario. Elaborado a partir de la presentación de los ponentes.

SEMINARIO 1

INTRODUCCIÓN A LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTES

El Acuerdo de París, derivado de la Conferencia sobre Cambio Climático (2015), incluye los compromisos de los países para reducir sus emisiones y colaborar para adaptarse a los efectos del cambio climático. También contiene llamamientos a los Estados para que fortalezcan sus compromisos a lo largo del tiempo, y contribuyan, a su vez, a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, a erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Cada objetivo tiene metas específicas a lograr hacia el 2030.

De este Acuerdo se derivan las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés), que son los esfuerzos concretos de cada país para reducir las emisiones nacionales y adaptarse a los efectos del cambio climático. Al 2016, 32 de los 189 países que presentaron sus NDC incluyeron temas relativos a la agricultura climáticamente inteligente.



Cambio climático y agricultura

Antes de entrar en materia, es importante establecer algunos conceptos como estado del tiempo y clima. El estado del tiempo es materia de análisis de la meteorología; cambia rápidamente, motivo por el cual dura poco tiempo. Su impacto es local y el alcance de los pronósticos en torno a él va de algunos días a pocos meses. Por otra parte, el clima es objeto de estudio de la climatología; tarda años en cambiar, y sus escalas de medición son de al menos 30 años. Su alcance es regional y las predicciones en torno a él abarcan largos periodos.

Dentro del clima es importante distinguir los conceptos de variabilidad y cambio. La variabilidad climática consiste en aquellas variaciones en el estado promedio de las escalas temporales, más allá de los eventos individuales. En contraste, el cambio climático es la variación estadísticamente significativa en el estado promedio del clima o sus variaciones en periodos largos (30 años o más).

De esta manera, la aplicación del concepto de cambio climático nos ayuda a determinar que el planeta es alrededor de un grado centígrado más cálido de lo que era en 1860. También los estudios en la materia han identificado que la concentración de contaminantes en la atmósfera alcanza los niveles más altos en 800,000 años. Asimismo, los patrones de precipitación pluvial han acentuado sus tendencias habituales: llueve más en lugares donde suele llover y llueve menos en sitios secos. Además, ha aumentado la intensidad y la frecuencia de eventos extremos (huracanes, tempestades tropicales, etc.).

El cambio climático no solamente se aprecia en los fenómenos anteriores, sino también en el mar (hay creciente incremento en su nivel y en su contenido de dióxido de carbono, y una baja en su pH) y en la disminución de los glaciares.

Todo eso lo sabemos gracias a estudios climatológicos globales, pero también gracias al conocimiento local. En particular, los agricultores son los principales agentes que suelen detectar las modificaciones en el clima, porque comparan situaciones recientes con aquellas que vivieron sus ancestros. Estas experiencias son sumamente útiles para entender los impactos locales

del cambio climático, así como las opciones de respuesta que tenemos frente a ellos.

Las proyecciones sobre el cambio climático para fines de este siglo van desde escenarios optimistas (alteraciones ligeras en la temperatura del planeta y en los patrones de precipitación pluvial) hasta escenarios pesimistas (variaciones más extremas, con sus consecuentes efectos negativos para la vida en general). La ocurrencia de un escenario u otro dependerá de qué tanto logremos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los años venideros.

Respecto a las causas del cambio climático, una de ellas es el efecto invernadero, que es natural y positivo para la vida terrestre. Consiste en una capa formada por gases presentes en la atmósfera, que cubre el globo terráqueo y que retiene parte del calor solar. Se estima que gracias a esta cubierta se alcanza una temperatura apta para la vida en el planeta, la cual es 15° Celsius mayor a la que habría en ausencia de este fenómeno.

Sin embargo, el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) eleva la concentración de estos gases en la atmósfera, lo que a su vez incrementa el calentamiento global. En la Figura 1.1 se indica cuáles son los GEI y de dónde provienen.

En 2015, las principales emisiones atmosféricas mundiales por contaminantes correspondieron a dióxido de carbono (81.2%), metano (10.6%), óxido nitroso (5.5%) e hidrofluorocarbono (2.5%). En ese año, los GEI

provinieron de la producción eléctrica y térmica (25%); la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (24%); la industria (21%); el transporte (14%); otras energías (9.6%), y edificios (6.4%). Como podemos observar, el sector agropecuario genera una cuarta parte de los gases que producen el calentamiento global.

La agricultura tiene una relación de doble vía con el cambio climático. De las actividades agrícolas procede más del 50% de las emisiones globales de óxido nitroso (que tienen el potencial de incidir en el calentamiento global por 298 años, y que permanece 114 años en la atmósfera) y metano (su potencial incidencia en el calentamiento global es de 25 años, y permanece 12 años en la atmósfera).

Por otra parte, el sector agrícola puede ser altamente vulnerable al cambio climático. Esta vulnerabilidad depende de las amenazas climáticas que se observen en cada región y la sensibilidad que exista hacia esos fenómenos climáticos. La combinación de ambos factores determina el impacto potencial en cada zona. A su vez, el impacto potencial se puede mitigar con la capacidad adaptativa (recursos financieros, conocimientos, investigaciones, tecnologías, etc.) con la que se cuente para responder a las amenazas climáticas.

Las afectaciones en el sector agrícola causadas por el cambio climático generan cadenas de impacto (Figura 2.1). Ante esto, es importante trabajar con los productores para mapear esas cadenas y así entender la problemática y buscar alternativas de solución.

Figura 1.1. Tipos de gases de efecto invernadero (GEI).



Figura 1.2. Cadenas de impacto.



Proyecciones e impactos en los sistemas andinos

Los sistemas agrícolas andinos son sistemas de montaña. En ellos, el agua desciende de los glaciares para abastecer a las áreas de producción. Los cambios climáticos que se registran, y que continuarán en la región andina, afectarán la disponibilidad de agua en la zona, con sus consecuentes impactos en la biodiversidad (terrestre y acuática) y en los sistemas socioeconómicos que dependen de ella.

Las principales transformaciones y desafíos que se observan en la región son: reducción de los glaciares de la cordillera andina; ascenso de cultivos a mayores alturas de lo habitual; mayor presencia de plagas, enfermedades y malezas introducidas; riesgo de erosión genética o pérdida de la agrobiodiversidad; cambios en los regímenes de evaporación y transpiración; y reducción de la productividad de papa y otros cultivos.

Estrategias frente a los impactos del cambio climático

Para enfrentar los impactos del cambio climático existen dos estrategias que son complementarias: la mitigación y la adaptación. La mitigación consiste en reducir la emisión de GEI. El objetivo de esta alternativa es mitigar los cambios futuros en el clima y evitar aquellos cuyos efectos serían inmanejables. Los beneficios de esta estrategia son globales.

La adaptación consiste en realizar ajustes en los sistemas humanos y naturales que se aplican en respuesta a los estímulos climáticos actuales (o esperados) o a sus efectos, con el propósito de aminorar su impacto. Sus beneficios son locales: sirven a las personas que aplican estas acciones. Muchos de estos ajustes ayudan a los productores a lograr sus metas (aumentar su producción, mejorar sus ingresos, etc.) en un contexto de clima cambiante.

En el Cuadro 1.1 se muestran algunas medidas de adaptación dirigidas a reducir la vulnerabilidad de sistemas humanos o naturales frente a las consecuencias del cambio climático y los riesgos asociados. El alcance de estas abarca desde la reducción de los factores de vulnerabilidad hasta la confrontación directa a las amenazas climáticas. Entre más se extiende su alcance, las acciones adaptativas requieren más información e incrementan sus costos.

Cuadro 1.1: Tipos de estrategias de adaptación.

Tipo de estrategia	Ejemplo
Compartir pérdidas / transferir riesgos	Apoyo entre familias, programas sociales y de seguros
Reducir amenazas	Manejo de diques y cambios en infraestructura más resistente
Prevenir impactos	Reservorios de agua en tiempos de escasez
Cambio de uso	Prácticas agrícolas adaptadas
Cambio de lugar	Reasentamiento o desplazamiento de actividades económicas
Investigación	Semillas resistentes a las sequías
Cambio de actitud y reglas	Campañas de información o sensibilización

Agricultura climáticamente inteligente (ACI) en los Andes y Chile

El enfoque de la agricultura climáticamente inteligente (ACI) busca generar acciones para transformar y reorientar los sistemas agrícolas, con la finalidad de volverlos más sostenibles. Lo hace brindando a las partes interesadas los medios para identificar las estrategias agrícolas más apropiadas, de acuerdo con su contexto territorial.

El propósito general de la ACI es garantizar la seguridad alimentaria de forma sostenible en el marco del cambio climático. Para ello persigue tres objetivos específicos: el aumento sostenible de la producción de alimentos y de ingresos para los productores, el incremento de la resiliencia y adaptación al cambio climático, y la reducción y/o remoción de los GEI.

Como los cultivos son altamente sensibles al clima, la aplicación sinérgica de medidas de mitigación y adaptación es imprescindible para la producción agrícola en el contexto actual de cambio climático. Sin embargo, la selección de estas alternativas es específica para cada caso: depende de las características de cada sistema productivo y de los desafíos particulares que este enfrente. La utilidad de la ACI radica en que nos permite identificar las mejores estrategias a seguir según el caso de que se trate.

Respecto a cómo ha sido la aplicación de la ACI en los sistemas andinos, los antecedentes se remontan a cinco siglos atrás, se produjo una revolución de ACI en la región, porque los productores se tuvieron que adaptar a los cambios climáticos que se vivieron en aquella época. Ahora se habla de llevar a cabo una segunda revolución de ACI en el contexto de presión climática que experimenta la zona.

Los factores que caracterizan a los sistemas andinos son: amplia diversidad de paisajes (clima, suelo y vegetación), extendida agrobiodiversidad, heterogeneidad sociocultural, actividad comunitaria y economía de autoconsumo. En estos sistemas se han aplicado diferentes medidas de ACI que, principalmente, se han orientado a mejorar

su productividad, incrementar su adaptación y resiliencia, y reducir los GEI.

En Chile, por ejemplo, los efectos del cambio climático obligaron a los productores a aplicar diversos ajustes. Sin embargo, los cambios pueden resultar muy complicados debido a la incompatibilidad con los objetivos personales y la baja reversibilidad (es costoso anular las medidas adoptadas) y rentabilidad de las modificaciones. Además, estas precisan desembolsos elevados de capital, requieren aprender muchas cosas e implican altos riesgos. A eso se suma que muchas veces los problemas no son visibles, y se suman a las ya existentes brechas en infraestructura física y social. Estos factores limitan a los agricultores para adoptar acciones de innovación en mitigación y adaptación necesarias para enfrentar el cambio climático.

En un marco en el que la agricultura chilena enfrenta la peor sequía (ha cumplido doce años) de la historia de ese país —situación que ha afectado severamente a los productores de arroz porque sus cultivos requieren de grandes cantidades de agua—, llegó a los arroceros chilenos la propuesta internacional de producción sustentable conocida como Sistema Intensivo del Cultivo de Arroz (SRI, por sus siglas en inglés).

La reacción inicial de los productores fue de rechazo, debido a que la propuesta implicaba múltiples desafíos. Sin embargo, el apoyo que recibieron de instituciones y socios locales, aunado a las adecuaciones realizadas en la metodología, les permitió comenzar a aplicar el modelo hace unos años y con éxito (temporada 2017/2018). Gracias a ello, se ha logrado reducir a la mitad el uso de agua, cambiar las semillas que se usaban por variedades más aptas para las nuevas condiciones e implementar nuevas soluciones para el control de la maleza.

El resultado de esta experiencia de innovación ha sido la creación de un nuevo sistema productivo de arroz climáticamente inteligente, basado en los factores que se describen en la Figura 1.3. Esto ha despertado un creciente interés entre los productores e inversionistas, quienes desean participar en el proyecto y continuar su desarrollo.

Figura 1.3. Factores del sistema productivo de arroz climáticamente inteligente (caso Chile).



La difusión de este sistema entre los agricultores se realiza a través de grupos de innovación participativa (GIP) en los que intervienen productores, investigadores, extensionistas y agentes de desarrollo de territorios.

Comentario general

El contexto internacional convierte al cambio climático en un tema clave para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, por lo que es relevante integrar este tema en las acciones desarrolladas para el sector, ayudando a reducir su vulnerabilidad y a aumentar su resiliencia. A su vez, el cambio climático es un tema transversal que potencia el desarrollo de acciones enfocadas en la sostenibilidad de las actividades agropecuarias. Los países de la región han establecido metas asociadas a este sector para contribuir a la lucha contra el cambio climático.

Cabe destacar que el sector agropecuario genera una parte importante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al cambio climático. Es importante saber de dónde provienen estos gases para establecer brechas, oportunidades y posibilidades de reducción.

El sector agropecuario tiene una dualidad interesante. Por una parte, contribuye al cambio climático mediante la generación de emisiones; por otro lado, es altamente vulnerable a los efectos de este cambio. Por tal razón, se hace necesario que el sector tenga un papel mucho más activo en el desarrollo de actividades de mitigación y adaptación.

Las oportunidades de mitigación y adaptación en el sector agropecuario son altas, ya que existen enfoques y mecanismos que contribuyen a establecer acciones específicas para los sistemas, aprovechando sus características y limitaciones.

Se debe tener claro que enfoques como la ACI no ofrecen recetas milagrosas o de "cocina" que se deban seguir al pie de la letra. Estos enfoques proporcionan consideraciones para desarrollar intervenciones de acuerdo con las necesidades específicas y el contexto de cada uno de los sistemas de producción.

Los procesos de extensión son claves al momento de determinar e implementar las medidas de ACI. Por eso es importante tener en cuenta las características de los productores que participan en estos procesos, con el fin de asegurar la transferencia eficiente y el empoderamiento. Trabajar de la mano con los productores es un factor que define el éxito del proceso.



SEMINARIO 2

USO DE SEMILLA DE CALIDAD DE VARIETADES BIEN ADAPTADAS. PARTE 1: RECURSOS GENÉTICOS³

PONENTES



Cristina Fonseca

Investigadora Asociada Senior
del Centro Internacional de
la Papa en Perú - División
Ciencias Sociales y Nutrición.



Carolina Bastos

Investigadora Asociada en
el Centro Internacional de la
Papa en Perú.



Elisa Salas

Investigadora Asociada en
el Centro Internacional de la
Papa en Perú.



Manuel Gastelo

Investigador Asociado Senior
en el Centro Internacional de
la Papa en Perú.

³ Fecha de la exposición: 20 de abril de 2021. Forma parte del módulo 2: Prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligentes para la producción de papa. Elaborado a partir de la presentación de los ponentes.

SEMINARIO 2

USO DE SEMILLA DE CALIDAD DE VARIEDADES BIEN ADAPTADAS. PARTE 1: RECURSOS GENÉTICOS

Generación de variedades de semillas resistentes

Los recursos genéticos constituyen la base de la alimentación familiar y de la economía de los sistemas agroalimentarios andinos que se fundan en la papa. Los efectos del cambio climático afectan la productividad de estos cultivos y amenazan la sostenibilidad de la agricultura familiar. Ante ello, se han adoptado acciones de agricultura climáticamente inteligente (ACI) que permitieron desarrollar alternativas de mitigación y resiliencia frente al cambio climático. Una de esas prácticas ha sido la investigación orientada a generar nuevas variedades de cultivos adaptados a las zonas agroecológicas, y que además tengan un alto potencial de adopción por parte de los agricultores.

En el contexto de cambio climático, los programas de mejoramiento genético en América Latina enfocan sus investigaciones en el desarrollo de variedades tolerantes o resistentes a factores abióticos, tales como sequías o heladas (que son cada vez más recurrentes), y bióticos, como son las enfermedades y plagas a cuya diseminación favorece el aumento de la temperatura ambiental. En el caso de la papa, las nuevas variedades mejoradas tienen un alto rendimiento bajo esas condiciones adversas, y requieren un menor uso de plaguicidas y fertilizantes convencionales.

Dada su experiencia y conocimiento de su entorno agroecológico, los productores son actores clave en los sistemas agroalimentarios andinos (SAA). Por tanto, es importante integrarlos en el desarrollo de las innovaciones tecnológicas, facilitando su participación en este proceso y brindándoles estrategias sencillas para enfrentar el cambio climático. De esta manera, ellos podrán adoptar más rápidamente los métodos climáticamente inteligentes.

Al respecto, el Centro Internacional de la Papa (CIP) ha logrado interesantes resultados en la promoción de las alternativas de selección participativa con el diseño Mamá y Bebé, en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. Esta metodología estimula la participación de los agricultores (hombres y mujeres) en la evaluación y selección de los clones avanzados de papa.

Una de las principales contribuciones de este modelo es el enriquecimiento de los procesos de selección de variedades, al favorecer el trabajo conjunto de productores e investigadores. Los agricultores obtienen empoderamiento, en virtud de que sus saberes y preferencias son tomados en cuenta; mientras que los investigadores tienen la oportunidad de observar el desempeño de sus materiales en las zonas productoras.

Los aportes de la metodología constituyen una respuesta inteligente al cambio climático, basada en la liberación y adopción temprana de variedades bien adaptadas a las zonas productoras y que responden a la lógica productiva de los agricultores. Esta respuesta propicia la sostenibilidad en la agricultura familiar y seguridad alimentaria en los SAA (Sistemas Agroalimentarios Altoandinos). Con esta metodología ya se han liberado más de diez variedades de papa en Perú; entre ellas está la variedad Kawsay, de alta productividad por hectárea, notable resistencia contra enfermedades y plagas, e importante aceptación en el mercado.

Selección participativa de variedades de papa (SPV) con diseño Mamá y Bebé

La Selección Participativa de Variedades (SPV) se define como la selección de clones (o variedades) terminados o casi terminados; en contraste con el Fitomejoramiento Participativo (FP), que se refiere a la selección y evaluación de materiales genéticos sin terminar⁴. El objetivo de la SPV es generar variedades bien adaptadas a entornos específicos y que sean rápidamente aceptadas por los agricultores⁵. En la SPV los agricultores, agricultoras y otras partes interesadas (consumidores, vendedores o instituciones) se incluyen en el proceso de desarrollo de nuevas variedades, con un nivel variable de participación.

⁴ Walker, T. S. 2007. Participatory Varietal Selection, Participatory Plant Breeding, and Varietal Change. Washington, DC. USA: Background paper for the World Development Report. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10986/9182>

⁵ De Haan, S.; Salas, E.; Fonseca, C.; Gastelo, M.; Amaya, N.; Bastos, C.; Hualla, V.; Bonierbale, M. 2017. Selección participativa de variedades de papa (SPV) usando el diseño mamá y bebé: una guía para capacitadores con perspectiva de género. Lima (Perú). Centro Internacional de la Papa. 82pp.

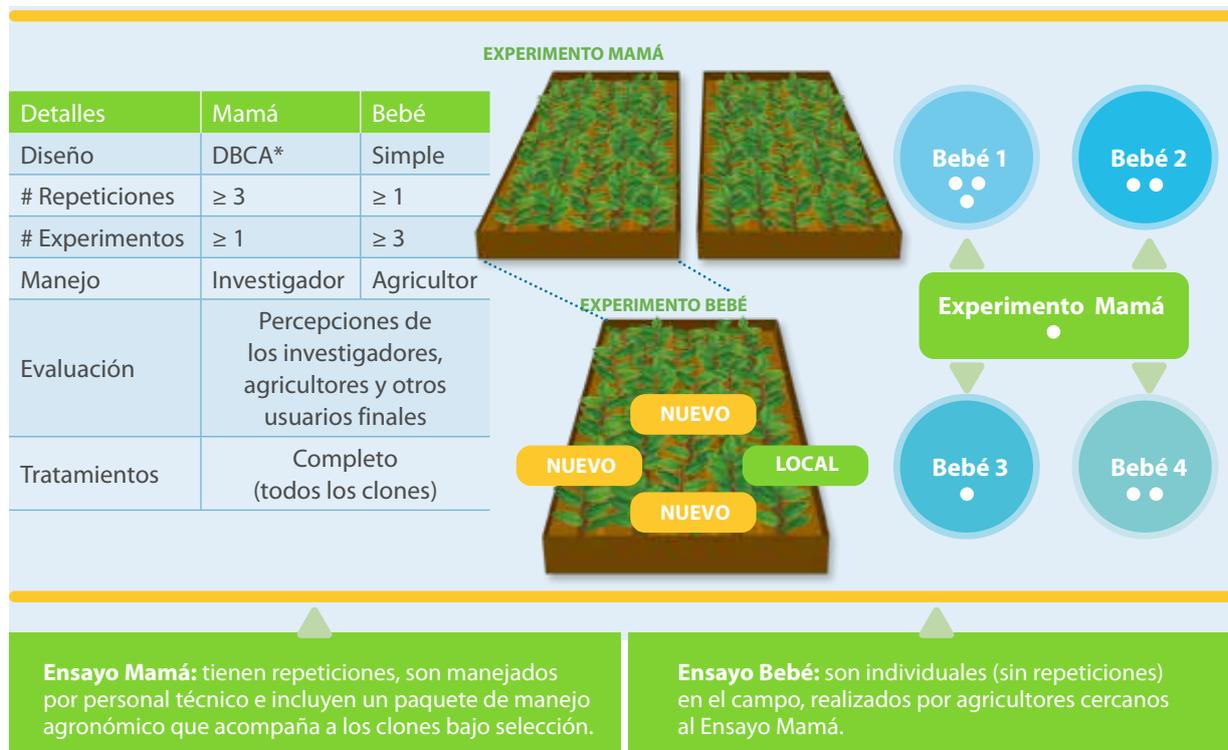
Cuadro 2.1: Ventajas de la SPV para diferentes actores.

Ventajas para agricultores y consumidores	Ventajas para los investigadores
<ul style="list-style-type: none"> • Se incrementa la tasa de adopción, disseminación y aceptación de las nuevas variedades, tanto por los agricultores como por los consumidores. • Ayuda a mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad de los sistemas alimentarios. • Estimula la equidad de género, permitiendo que las mujeres tengan un rol activo en el proceso de selección de las nuevas variedades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permite captar la opinión de los agricultores y usuarios finales de la tecnología, desde el punto de vista productivo y del mercado. • Incorpora los saberes ancestrales de los agricultores dentro del programa de mejoramiento para lograr nuevas variedades con mejores posibilidades de adopción y disseminación. • Permite la equidad de género. Dado que las preferencias podrían ser diferentes para hombres y mujeres. Esta información es muy valiosa en el proceso de selección de las nuevas variedades.

La poca participación de todos los actores de la cadena de valor es la principal desventaja de este enfoque. Se observa una mayor participación en quienes intervienen directamente en el proceso (técnicos y agricultores), pero no se estimula la participación de los actores indirectos (consumidores, vendedores de insumos, comerciantes intermediarios, restaurantes, supermercados, etc.).

En cuanto al modelo Mamá y Bebé, se trata de un diseño de investigación participativa que permite a agricultores e investigadores probar los mejores clones candidatos, como nuevas variedades, a través de dos tipos de ensayos que se desarrollan en paralelo. Uno es el Ensayo Mamá, que está a cargo de investigadores y que aplica repeticiones, usa un paquete de manejo tecnológico e incluye todos los clones a evaluar. El otro es el Ensayo Bebé, que corre a cargo de los agricultores, no aplica repeticiones y sigue métodos de la agricultura tradicional.

Figura 2.2. Diseño M&B para evaluar clones avanzados de variedades de papa mediante SPV⁶.



*DBCA: Diseño de Bloques Completos al Azar

El SPV se aplica en tres fases fenológicas del cultivo de la papa. Todas ellas son evaluadas: 1) en el desarrollo vegetativo, que va del inicio de la tuberización y floración a la presencia de bayas y tubérculos; 2) en la cosecha; y 3) en la postcosecha.

⁵ Ibidem.

Evaluación: componentes y métodos

Las tres fases que se evalúan (floración, cosecha y postcosecha) tienen cuatro componentes con sus respectivos métodos:

- **Componente 1: Recopilación de criterios de selección.** Intervienen los agricultores y técnicos, cuyas opiniones se integran en un listado libre (método) de las características que debería tener la nueva variedad.
- **Componente 2: Priorización de criterios de selección.** Se priorizan las características más importantes de la variedad que se defina, utilizando el método de clasificación ponderada.
- **Componente 3: Votación y clasificación de mejores clones.** Se clasifican los mejores clones a partir de la votación de hombres y mujeres. En esta clasificación se priorizan y ponderan los tres criterios más votados (se utiliza el método de clasificación ponderada).

- **Componente 4: Evaluación estándar.** Es el registro de datos que el investigador lleva a cabo sobre el comportamiento de cada material en la fase que corresponda (se utiliza el método de observación directa).

Además de los componentes referenciados, en la cosecha también se realiza la evaluación organoléptica, mediante la cual los participantes prueban los clones para valorar la calidad de sus atributos (textura, apariencia y sabor). En tanto, en la postcosecha también se realiza una evaluación de almacén para observar el comportamiento de los clones en depósito.

Cada país tiene sus propios protocolos para liberar nuevas variedades, a los que se deben ajustar los investigadores y agricultores que participen en este tipo de proyectos.

Etapas para implementar el diseño Mamá y Bebé

La implementación del diseño Mamá y Bebé consta de tres etapas, descritas en el Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2: Etapas para implementar el diseño Mamá y Bebé.

Etapa	Descripción
1. Planificación de los ensayos	<p>Esta etapa comprende los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar a socios o colaboradores de investigación que estén interesados en participar en la SPV. Estos participantes pueden ser organizaciones no gubernamentales con servicios de investigación o extensión, universidades, institutos gubernamentales, organizaciones de agricultores y actores de la cadena de valor de la papa. En este aspecto, es escasa la participación de las mujeres, por lo que resulta imperativo asumir el reto de integrarlas. • Elegir a las localidades apropiadas para aplicar el modelo. Estas serán aquellas donde: la papa sea un cultivo importante, la calidad y el número de socios sean suficientes, exista interés de los agricultores y que por lo menos algunas parcelas de investigación estén cerca de los poblados, a efecto de que las mujeres puedan participar en las evaluaciones. • Organizar y definir con precisión las responsabilidades de los socios. Debe quedar claro el rol que le corresponderá desempeñar a cada participante. Se recomienda que una entidad específica se encargue de gestionar los datos, coordinar las jornadas de campo y movilizar a los agricultores. Asimismo, al menos una organización (o persona) debe asumir la supervisión general del proyecto, ya que todo el proceso, desde el establecimiento hasta el lanzamiento de la variedad, puede llevar de 3 a 4 años.
2. Entrenamiento de los socios	<p>Se entrena a los socios mediante talleres. Se recomienda involucrar a personas con experiencia en capacitación; combinar teoría y práctica, a fin de hacer amena la instrucción y asegurar que haya suficiente oportunidad de ensayar los diferentes ejercicios de la SPV; y aprender haciendo (que un equipo de facilitadores guíe la primera temporada de las pruebas Mamá y Bebé, de modo que el personal local replique las aplicaciones en las siguientes temporadas).</p>
3. Caracterización de los ensayos	<p>En esta fase se deben registrar los datos básicos de los agricultores, de la localidad y de quienes estarán a cargo de las parcelas (tanto técnicos como agricultores). También preparar un calendario por área, que contemple la información de campo a recabar (respecto a la instalación de las parcelas y manejo de cultivo); realizar análisis de suelo; integrar datos de clima, y enlistar los materiales relativos a los clones y aquellos que se necesitarán para llevar a cabo el proyecto.</p>

Mejoramiento genético de la papa frente a factores bióticos y abióticos

Diferentes estreses bióticos y abióticos han afectado el cultivo de papa en las zonas andinas de Bolivia, Ecuador y Perú. Entre los primeros se encuentran el tizón tardío (*Phytophthora infestans* [Mont] de Bary); los virus PVX, PVY y PLRV; el gorgojo de los Andes (*Premnotrypes* spp); la polilla de la papa (*Phthorimaea operculella*); el nematodo del quiste (*Globodera pallida*), y la mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*). En tanto, la sequía, el calor y las heladas son los principales factores abióticos de estrés que han dañado a la papa en esas zonas.

A través de diferentes proyectos de mejoramiento genético emprendidos en el CIP para atender esos factores de estrés, se ha logrado desarrollar variedades de papa resistentes a virus de tierras bajas tropicales, otras adaptadas a los trópicos altos y otras más con alto contenido de micronutrientes (también conocidas como papas biofortificadas). Para generar los clones élite empleados para producir nuevas variedades de papa, en el CIP se aplica el método de selección recurrente fenotípica, que se basa en ciclos de selección y recombinación.

El modelo en referencia (Figura 2.3) comienza con cruzamientos genéticos y consta de diferentes ensayos secuenciales (preliminares, intermedios y avanzados) de cultivos, hasta producir los clones élite que reúnen propiedades nutricionales y de resistencia a factores de estrés. Una vez obtenidos, estos clones se emplean en un siguiente ciclo de selección, con el fin de aumentar la frecuencia de genes y genotipos favorables al atributo principal que se estudia. Y así sucesivamente. Esta metodología se utiliza en cada ambiente de producción de papa que existe en Perú.

Cuadro 2.2: Etapas para implementar el diseño Mamá y Bebé.



En el caso del tizón tardío, la enfermedad que más afecta a los cultivos de papa en el mundo, se ha desarrollado clones que no solo son resistentes a esta enfermedad, sino que también cuentan con otros atributos: tolerancia a virus, al calor y la sequía, adaptabilidad a amplios ambientes y calidad en el mercado.

El germoplasma mejorado se distribuye a nivel internacional para apoyar los programas de producción de diversos países. La distribución incluye plantas *in vitro* de clones y progenitores, además de semillas botánicas de progenies avanzadas. En total, el CIP ha liberado alrededor de 70 variedades para su uso mundial. Toda esta información forma parte del [Catálogo de Clones Avanzados del CIP](#).

Los desarrollos del CIP han arrojado resultados positivos en los planos nacional e internacional. En Perú se han liberado múltiples variedades, entre las que se encuentran Amarilis, Pallyponcho, Poderosa y Serranita. En cuanto al ámbito internacional, en Vietnam se ha logrado un 6% de ganancia genética de rendimiento mediante el mejoramiento del cultivo bajo condiciones locales. Asimismo, la variedad Única (CIP392792.22) y el clon CIP393371.58 han sido liberados y aplicados con éxito en diversos países; y, al igual que la variedad Kufry Lima (CIP397065.28), en la India.

Comentario general

La Metodología SPV – Mamá y Bebé fortalece los vínculos de colaboración entre los actores. Por una parte, los productores valoran ser tomados en cuenta en la investigación y que se les reconozcan sus saberes; por otra, los investigadores enriquecen sus conocimientos al identificar los criterios de selección que responden a las demandas de las zonas productoras y a la lógica productiva de los agricultores. Al mismo tiempo los dos actores son partícipes de la liberación de variedades cuya adopción está garantizada.

Asimismo, esta metodología enriquece los procesos de selección del material genético en diversos cultivos, pues tiene en cuenta los múltiples criterios de selección de los productores, así como también sus perspectivas vinculadas a su entorno ambiental que, actualmente, se ve afectado por el cambio climático. Sobre esa base se logra la generación de nuevas variedades con mayores opciones de adopción y difusión en las zonas productoras. De esta forma se contribuye al incremento de los ingresos económicos y la calidad de vida de miles de pequeños productores que desarrollan una agricultura familiar.

El Centro Internacional de la Papa cuenta con clones élites con altos niveles de resistencia al tizón tardío, PVX, PVY, PLVR; con tolerancia a la sequía, calor y heladas; de amplia adaptación, bajo contenido de glicoalcaloides, y contenido de hierro y zinc superior a las variedades locales; con periodo vegetativo de 90 a 120 días y con una alta variabilidad de caracteres agronómicos, de acuerdo con las exigencias del mercado local de los países a donde se envían.



SEMINARIO 3

USO DE SEMILLA DE CALIDAD DE VARIETADES BIEN ADAPTADAS. PARTE 2: GESTIÓN DE SEMILLA⁶

PONENTE



Jorge Andrade Piedra

Investigador Asociado Senior
del Centro Internacional de la
Papa en Perú.

⁶ Fecha de la exposición: 27 de abril de 2021. Forma parte del módulo 2: Prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligentes para la producción de papa. Elaborado a partir de la presentación del ponente.

SEMINARIO 3

USO DE SEMILLA DE CALIDAD DE VARIEDADES BIEN ADAPTADAS. PARTE 2: GESTIÓN DE SEMILLA

Introducción

La semilla de papa es un insumo fundamental para la producción de este alimento. Una buena calidad de semilla permite reducir la brecha de rendimiento y diseminar nuevas variedades. Debido a que el cultivo de papa se propaga vegetativamente, la semilla es voluminosa, costosa, susceptible de ser afectada por patógenos y plagas, y difícil de almacenarse, y su transporte es costoso⁷. Los componentes de la cadena de valor del sistema de semillas se ilustran en la Figura 3.1.

Todos estos componentes interrelacionados (de mejoramiento, manejo, reemplazo y distribución) constituyen el sistema de semilla⁸, el cual puede operar de tres maneras:

1. Formal, cuando son regulados por el Estado y dan lugar a la producción de semillas certificadas.



2. Informal, cuando corren a cargo de los agricultores tradicionales.

3. Mixto, cuando combinan elementos de los dos anteriores.

En América Latina, así como en el resto de los países en vías de desarrollo del mundo, el modelo predominante del sistema de semilla de papa es informal, como se puede apreciar en el Cuadro 3.1.

Figura 3.1. Cadena de valor — Sistema de semilla⁹.



⁷ Struik, C. P.; Wiersema, G. S. 1999. Seed Potato Technology. Ed. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands 383.

⁸ Thiele, G. 1999. Informal potato seed systems in the Andes: Why are they important and what should we do with them? World Development, 27, 83–99.

⁹ Andrade-Piedra, J.L.; Almekinders, C.J.M.; McEwan, M.A.; Kilwinger, F.B.M.; Mayanja, S.; Mulugo, L.; Delaquis, E.; Garrett, K.A.; Omondi, A.B.; Rajendran, S.; Kumar, P.L.; Thiele, G. 2020. User guide to the toolbox for working with root, tuber and banana seed systems. Lima (Peru). CGIAR Research Program on Roots, Tubers and Bananas (RTB).

Cuadro 3.1. Uso de semilla formal e informal en algunos países (cifras en %)¹⁰.

País	Sistema de semilla formal	Sistema de semilla informal	Referencias
Afganistán	0	100	Kadian et al. (2007)
Bangladesh	5	95	Ilangantileke et al. (2001)
Bután	2	98	Kadian et al. (2007)
Bolivia	2	98	Hidalgo et al. (2009)
China	20	80	Muthoni et al. (2013)
Colombia	2–10	90–98	FEDEPAPA (2010), Guzmán-Barney et al. (2012)
Ecuador	1–3	97–99	Thiele (1999), ESPAC (2012)
Etiopía	11	89	Gildemacher et al. (2009)
India	20	80	Kadian et al. (2007)
Indonesia	6	94	Muthoni et al. (2013)
Kenia	0.5	99.5	Gildemacher et al. (2009)
Pakistán	5	95	Muthoni et al. (2013)
Perú	0.5	99	Hidalgo et al. (2009)
Uganda	4	96	Gildemacher et al. (2009)

La calidad de la semilla depende de cuatro factores. El más importante de ellos es su sanidad, y se refiere a su resistencia a plagas y enfermedades. Los tres restantes son su pureza genética, edad fisiológica y calidad física (tamaño e integridad). En el caso de la papa, la degeneración de la semilla proviene de distintos agentes: virus, bacterias, hongos e insectos, entre otros. Varios de estos patógenos se acumulan en la semilla de un ciclo a otro, con lo que provocan pérdida de rendimiento de los cultivos o del valor de mercado del producto¹¹.

Manejo integrado de semillas

Desde 2016 se ha extendido el uso del manejo integrado de semillas para atender el problema de la degeneración de la semilla de papa. Este modelo consta de tres tácticas: el uso de variedades resistentes, basado en el mejoramiento genético; el manejo de la semilla en campo, que depende de la capacitación a los agricultores; y la compra y uso de semilla sana, a través de la distribución de semillas certificadas.

Uso de variedades resistentes

En cuanto al uso de variedades resistentes, el CIP ha desarrollado tipos de papa capaces de soportar las

plagas que afectan a los cultivos en las distintas zonas de producción de los países andinos. Las ventajas que implica el uso de esta táctica son:

- Reducción de pérdidas por degeneración, lo que permite a los agricultores reutilizar sus semillas.
- Precocidad de los cultivos.
- Generación de altos rendimientos.
- Disminución de uso de plaguicidas.
- Adaptabilidad a diferentes zonas ecológicas.

Manejo de semilla en campo

El manejo de la semilla en campo incluye diferentes técnicas: la selección positiva, la selección negativa, la parcela de semilla y el almacenamiento adecuado.

Selección positiva

La técnica de selección positiva de la semilla de papa se utiliza cuando el lote de cultivo es de mala calidad; es decir, contiene pocas plantas sanas. La técnica consta de seis pasos¹²:

- Se selecciona un campo de cultivo donde no se haya sembrado papa (o en descanso), se haya usado la mejor semilla disponible y se hayan hechos todas las labores agrícolas necesarias en el momento oportuno.

¹⁰ Thomas-Sharma, S.; Abdurahman, A.; Ali, S.; Andrade-Piedra, J. L.; Bao, S.; Charkowskif, A. O.; Crook, D.; Kadian, M.; Kromann, P.; Struik, P. C.; Torrance, L.; Garrett, K. A.; Forbes, G. A. 2015. Seed degeneration in potato: The need for an integrated seed health strategy to mitigate the problem. *Plant Pathology*, 65(1), 1-16. <https://doi.org/10.1111/ppa.12439>

¹¹ Ibidem.

¹² Gildemacher, P.R.; Schulte-Geldermann, E.; Borus, D.; Demo, P.; Kinyae, P.; Mundia, P.; Struik, P. 2011. Seed Potato Quality Improvement through Positive Selection by Smallholder Farmers in Kenya. *Potato Res.* 54, 253.

Figura 3.2. Manejo de semilla de papa: pasos de la técnica selección positiva.



- En las etapas de prefloración y floración, se marcan (con cal, estacas, sogas, etc.) las mejores plantas (las robustas con tallos gruesos y aquellas con tallos y hojas sanas) de la misma variedad.
- Dos semanas antes de la cosecha se corta y retira el follaje de las plantas marcadas (en primer lugar) y del resto.
- Se cosechan las plantas marcadas. Se seleccionan aquellas que hayan tenido el mejor rendimiento, y de ellas se escogen los mejores tubérculos.
- De estos tubérculos se seleccionan los sanos y se separan los uniformes y de tamaño mediano.
- Se almacena la semilla bajo techo en ambientes limpios y ventilados para fomentar el verdeado de la misma.

Selección negativa

Si el lote de cultivo es de buena calidad se aplica la selección negativa (*roguing*), que es la segunda técnica de manejo de semilla en campo. Este método consiste en identificar y eliminar las peores plantas, para no mezclarlas con las plantas sanas.

Parcela de semilla

Otra técnica es la parcela de semilla, en la que el agricultor usa semilla de la mejor calidad posible, idealmente certificada. Esta semilla se siembra en el mejor lote disponible, ante la imposibilidad de muchos agricultores de adquirir semilla de calidad para todas sus parcelas. En ese lote se aplica la selección positiva o negativa (según la calidad del cultivo) y de él se saca la semilla para los lotes de comercialización.

Almacenamiento adecuado

La cuarta técnica en el manejo de semilla en campo es el almacenamiento adecuado. Según los recursos del agricultor, se puede utilizar almacenes sofisticados de luz difusa; pero igualmente se puede emplear silos verdeadores más simples y hasta acondicionar aleros para resguardar a la semilla. Lo importante es la limpieza del espacio, así como airear y proveer luz difusa a la variedad para que pueda brotar adecuadamente.

Limitaciones de las técnicas de manejo de semilla en campo

Las limitaciones de las técnicas de manejo de semilla en campo son:

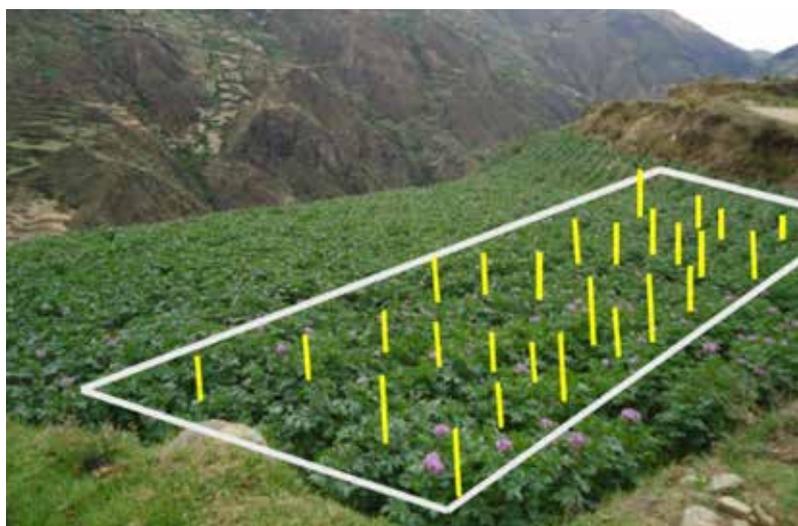
- La efectividad de estos métodos depende de que la semilla del agricultor no esté muy degenerada. Si la semilla disponible está muy dañada, entonces se debe buscar otras alternativas.
- No se puede utilizar esta táctica cuando el agricultor ha perdido su semilla por desastres naturales, dado que no se cuenta con el insumo básico para aplicarla.

Uso de semilla sana

El componente del uso de semilla sana abarca tecnologías orientadas a producir semilla certificada, como son el esquema de producción de semilla, la producción *in vitro*, el diagnóstico de virus, las técnicas de multiplicación rápida y la selección clonal. Estas tecnologías constituyen el sistema formal de manejo de semilla.

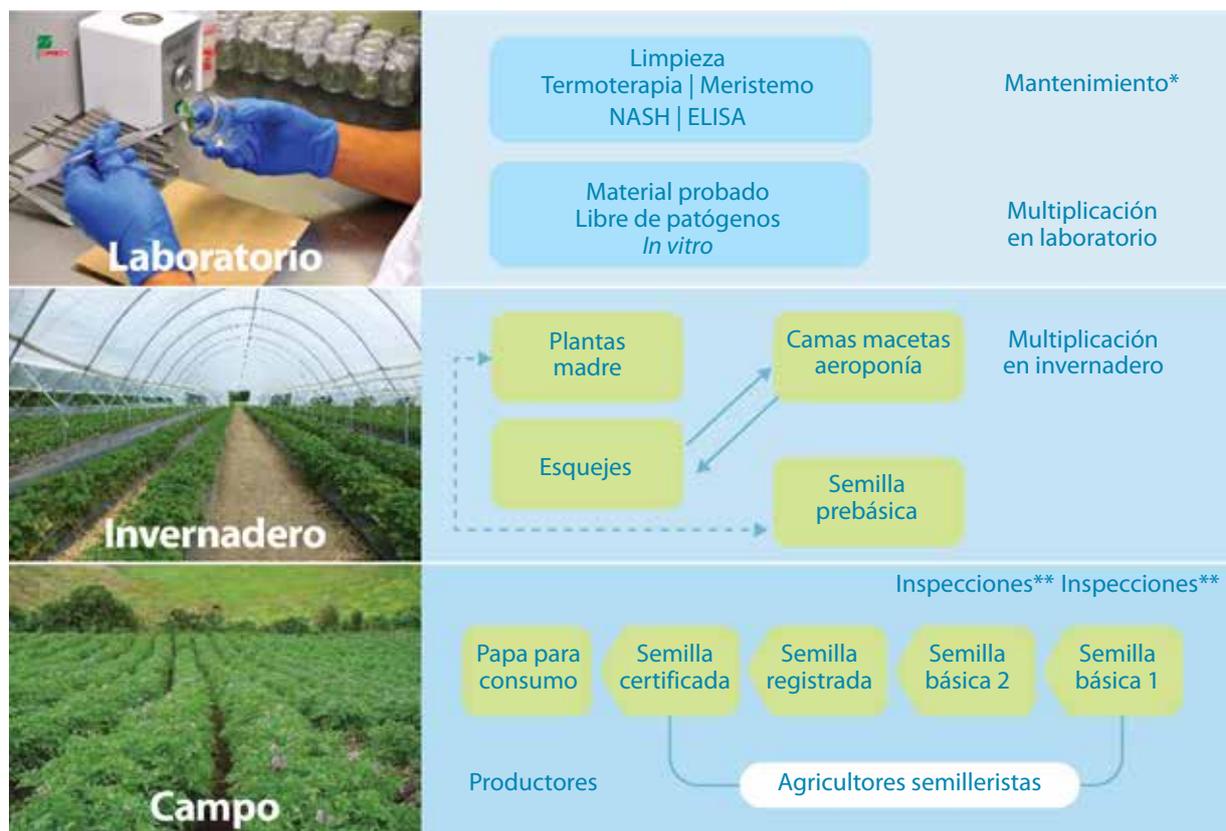
Esquema de producción de semilla

El esquema de producción de semilla comprende tres fases principales: laboratorio, invernadero y campo, como se ilustra en la figura 3.3.



Parcela de Semilla

Figura 3.3. Esquema de producción de semilla de papa (caso Perú).



*Control de calidad NASH y ELISA

**NASH y ELISA opcional

Producción *in vitro*

La producción *in vitro* se refiere a diferentes técnicas para el mejoramiento de la semilla en laboratorio, como el protocolo de eliminación de virus de papa y el Sistema Autotrófico Hidropónico. Hay muchas técnicas para producir *in vitro*, todas ellas bien probadas; de hecho, el CIP oferta capacitación al respecto.

Diagnóstico de virus

Una vez que se han limpiado las plantas y se han sometido a termoterapia y al cultivo de meristemas, es necesario confirmar la sanidad de las plantas. Para tal efecto, varias técnicas son utilizadas, entre ellas se encuentran la DAS-ELISA, NCM-ELISA, NASH, PCR, entre otras.

Técnicas de multiplicación rápida

Las técnicas de multiplicación rápida tienen como objetivo alcanzar altos índices de multiplicación a corto tiempo, asegurar la calidad sanitaria de la nueva semilla,

reducir los costos de producción, renovar la semilla rápidamente en caso de degeneración o catástrofes, y diseminar nuevas variedades.

Las técnicas de multiplicación rápida se subdividen en dos categorías. La primera es la producción de esquejes^{13 y 14}, que pueden ser de tallo lateral, de tallo juvenil, de tallo adulto y de brote de tubérculo. La segunda es la producción de minitubérculos (semilla prebásica), que comprende las siguientes técnicas:

- a) Convencional. Consiste en sembrar plántulas *in vitro* en un sustrato esterilizado en macetas o camas. Con esta tecnología se logra una producción de 5 a 10 tubérculos por planta¹⁵.
- b) Aeroponía. Las raíces de las plantas, estolones y tuberculillos crecen suspendidos en el aire, dentro de cajones cerrados, o módulos, totalmente oscuros, con alta humedad y son fertilizados mediante una solución nutritiva que es nebulizada y recirculada. Se pueden obtener más de 100 minitubérculos por planta¹⁶.

¹³ Bryan, J.E.; Jackson, M.T.; Melendez, N. 1981. Rapid multiplication techniques for potatoes. International Potato Center. Lima, Perú.

¹⁴ Hidalgo, O. 1999. Producción de tubérculos-semillas de papa: Producción de semilla básica por selección positiva, negativa y clonal. Lima, PE. CIP 5(2).

¹⁵ Ibidem.

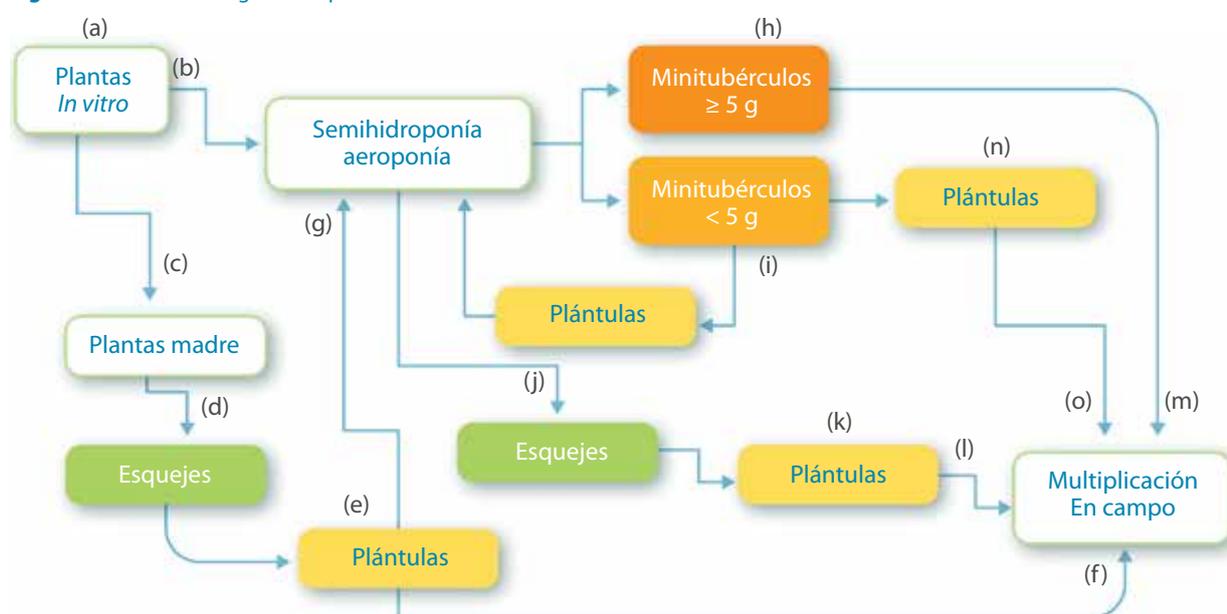
¹⁶ Andrade-Piedra, J.L.; Kromann, P.; Otazu, V. (eds.). 2015. Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú. Quito (Ecuador). CIP, INIAP, CORPOICA.

- c) Arenoponía o semihidroponía. Es una técnica simple y de fácil adopción que usa sustratos sólidos inertes, en los cuales se sostienen las raíces. Estos sustratos necesitan lavarse y/o desinfectarse. Los nutrientes se proveen a través de una solución nutritiva que no recircula. No requiere energía eléctrica y se pueden obtener entre 10 y 12 minitubérculos por planta.
- d) Lámina de nutrientes (*nutrient film technique, NFT*). Las raíces de las plantas crecen en una serie de canales cubiertos por una lámina de plástico, apoyados en una estructura y a través de los cuales recircula una solución de nutrientes. Se pueden obtener hasta 20 minitubérculos por planta.
- e) Agua profunda. Las plántulas se siembran en macetas o módulos que contienen una solución nutritiva. Las raíces se oxigenan con un compresor. Actualmente se prueba esta nueva técnica para la multiplicación de clones.

Selección clonal

La selección clonal es aquella en la que se aplica la selección positiva y negativa de manera sistemática para producir semilla certificada¹⁷. En la práctica se suelen aplicar sistemas integrados de producción de minitubérculos, que combinan las técnicas antes referenciadas (Figura 3.4).

Figura 3.4. Sistema integrado de producción de minitubérculos¹⁸.



Herramientas para estudiar sistemas de semillas y mejorarlos

A través del trabajo de más de 50 investigadores en distintos continentes, recientemente se ha consolidado una caja de herramientas para estudiar y mejorar los sistemas de semilla de raíces, tubérculos (a los que pertenece la papa) y bananas¹⁹, caracterizados por su propagación vegetativa. Este instrumental consta de doce metodologías probadas en condiciones de campo, e incluye hojas descriptivas, guías de usuario, artículos científicos, materiales de comunicación y apoyo técnico relacionado con esas herramientas.

La caja de herramientas incluye métodos para examinar diferentes elementos de la cadena de valor del sistema de semilla, como el análisis de las políticas regulatorias de las semillas, el marco conceptual para analizar sistemas de semillas y el análisis de redes de impacto, entre otros.

¹⁷ Bryan, J.E. 1981. Rapid Multiplication techniques for potatoes International Potato Center, Lima, 20p.

¹⁸ Andrade-Piedra, J.L.; Kromann, P.; Otazu, V. (eds.). 2015. Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú. Quito (Ecuador). CIP, INIAP, CORPOICA.

¹⁹ La caja de herramientas está disponible en: <https://tools4seedsystems.org/>

Comentario general

El manejo integrado de semilla considera tres componentes, a saber: 1) el uso de variedades resistentes a los patógenos que causan degeneración; 2) el manejo de la semilla en finca; y 3) el uso de semilla limpia, idealmente certificada.

En sistemas de producción altamente tecnificados, el agricultor usualmente compra semilla certificada; sin embargo, en sistemas tradicionales, el agricultor tiene poco acceso a la semilla certificada, debido a que no puede comprarla o no está disponible. En este último caso, se puede hacer uso de variedades resistentes o de otras técnicas de manejo en campo (selección positiva, selección negativa, parcela de semilla, entre otras).

Cabe destacar que se dispone de metodologías (herramientas) que permiten estudiar los sistemas de semillas existentes y mejorarlos. Existe un grupo de especialistas que puede dar apoyo a los agricultores para que sus proyectos tengan mejores resultados.

En este sentido, es altamente recomendable que —antes de hacer proyectos de semilla— reconozcamos a los sistemas informales que están presentes en el territorio, y que observemos cómo son los flujos de semillas, cuál es la calidad de la semilla de los agricultores y cuáles son los comerciantes de semillas, entre otros factores. Conocer esta información es de suma importancia antes de diseñar un nuevo proyecto para mejorar los sistemas de semillas existentes.



SEMINARIO 4

SISTEMAS ALIMENTARIOS Y AGROBIODIVERSIDAD PARA LA ADAPTACIÓN Y LA MITIGACIÓN CLIMÁTICA²⁰

PONENTE



Stef De Haan

Investigador Asociado Senior
del Centro Internacional de la
Papa en Perú.

²⁰ Fecha de la exposición: 4 de mayo de 2021. Forma parte del módulo 2: Prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligentes para la producción de papa. Elaborado a partir de la presentación del ponente.

SEMINARIO 4

SISTEMAS ALIMENTARIOS Y AGROBIODIVERSIDAD PARA LA ADAPTACIÓN Y LA MITIGACIÓN CLIMÁTICA

Iniciativa andina por la agrobiodiversidad

En 2020, el Centro Internacional de la Papa (CIP) lanzó la Iniciativa Andina para conservar la agrobiodiversidad única de los Andes, promover dietas saludables y construir un futuro resiliente. La estrategia parte del enfoque de la cadena del sistema alimentario, que va de la producción hasta el consumo de alimentos (Figura 4.1), para generar soluciones integrales en la materia.

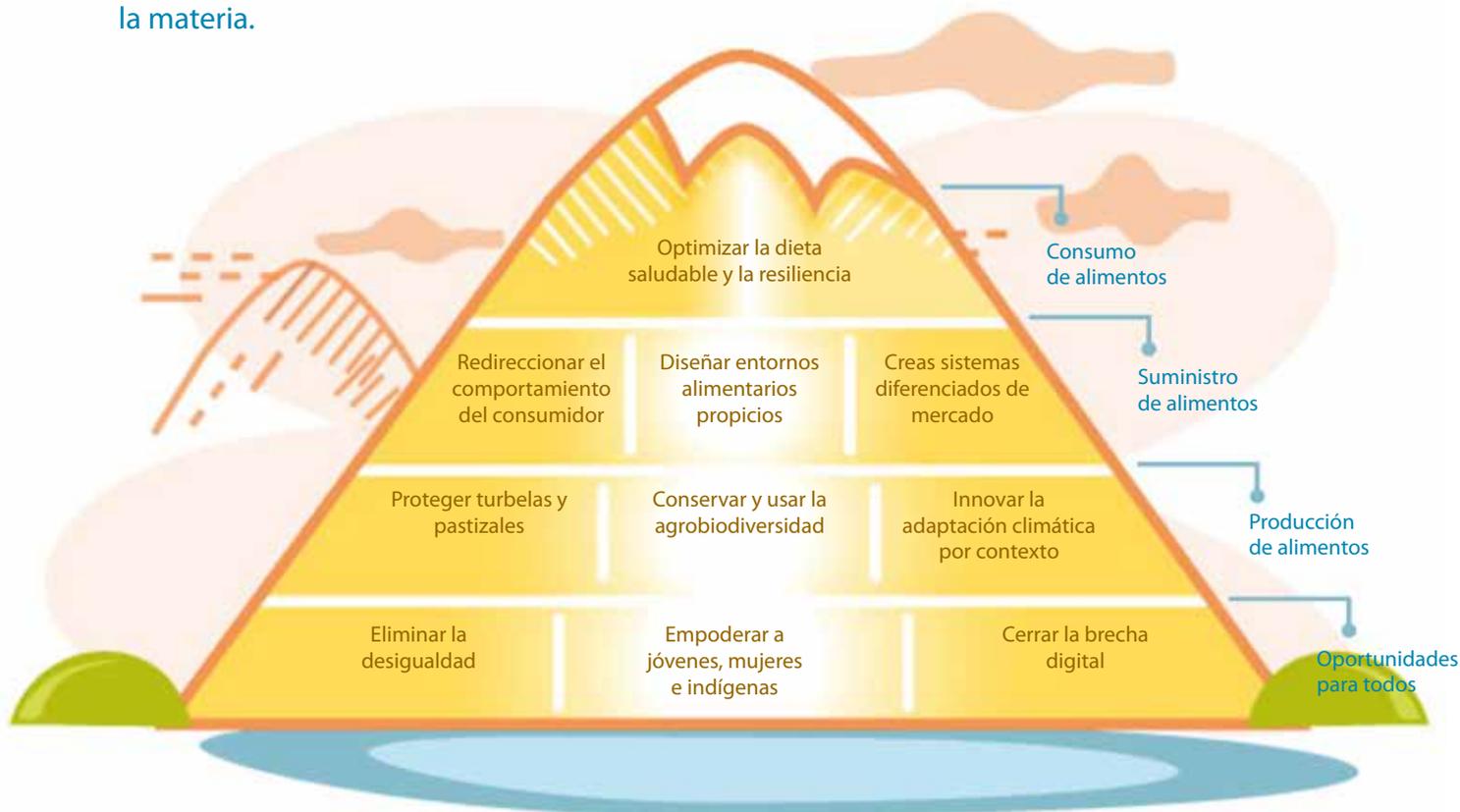


Figura 4.1. Iniciativa Andina: el futuro que esperamos.

El sistema alimentario es una red (compleja) de actividades que involucran la producción, el procesamiento, el transporte y el consumo. Los problemas relacionados con el sistema alimentario incluyen la gobernanza y la economía de la producción de alimentos, su sostenibilidad, el grado de desperdicio de alimentos, la forma en que la producción de alimentos afecta el medio ambiente y el impacto de los alimentos en la salud de la población.

Retos de los sistemas alimentarios

El reporte del Panel de Alto Nivel de Expertos de la FAO (2017) concluyó que los sistemas alimentarios dependen del impacto del cambio climático sobre el medio ambiente, la inclusión social y la salud humana. Por tanto, los proyectos de transformación estructural en materia alimentaria deben buscar mantener el mejor equilibrio posible de esos tres factores.

Actualmente, las dietas, los estilos de vida y los sistemas alimentarios en el mundo experimentan un proceso de transición causado por la urbanización, la globalización, el crecimiento económico, los cambios tecnológicos, el procesamiento de los alimentos y el marketing.

Figura 4.2. Dietas, estilos de vida y sistemas alimentarios.



En el caso de los Andes, como ocurre en diferentes regiones subdesarrolladas, la transformación de los patrones de consumo, producción y procesamiento de alimentos han aliviado problemas como la desnutrición y la baja esperanza de vida de la población, pero han generado otros como el sobrepeso y la obesidad que afectan hasta los menores de edad.

El modelo predominante de alimentos procesados y con alto contenido calórico es pernicioso, dado que agota los recursos del planeta, daña la salud de la población y acentúa la pobreza. Por ello, el desafío que hoy enfrentamos es acelerar la transición hacia un estadio de alimentación y actividades saludables, que debe ser la base para lograr sistemas alimentarios sostenibles.

Sistemas alimentarios sostenibles

La constitución de sistemas alimentarios sostenibles depende de cuatro condiciones :

- Permitir que todos accedan a alimentos nutritivos, seguros y asequibles que se requieren para gozar de

buena salud, sin dejar a nadie atrás. Y evitar que esos alimentos se pierdan o desperdicien.

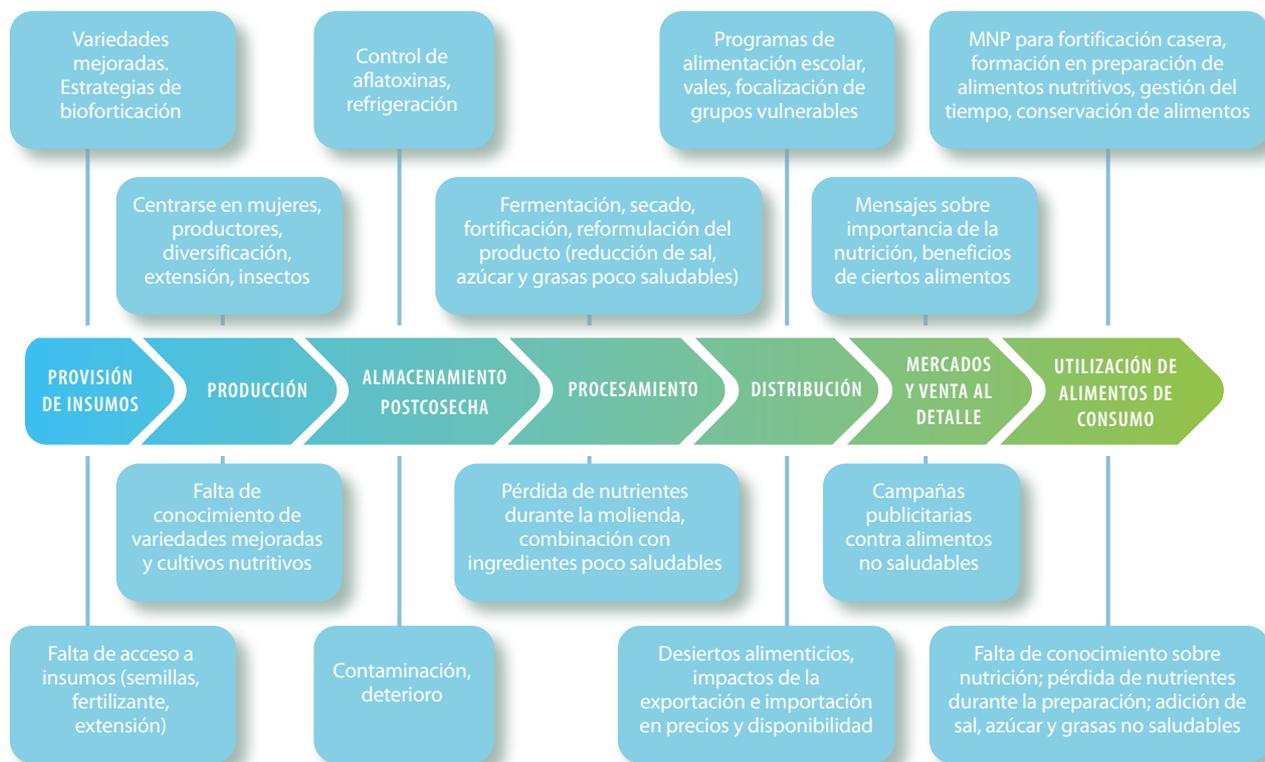
- Contribuir a la prosperidad de las personas, con un enfoque de oportunidades para productores, procesadores y comercializadores de alimentos a pequeña escala, y el comercio sostenible.
- Limitar la emisión de gases de efecto invernadero y disminuir el carbono atmosférico para fortalecer la resiliencia y la adaptación de las comunidades amenazadas por el clima volátil.
- Restaurar y conservar los elementos clave de los ecosistemas, incluidos la propiedad común, los suelos superiores, el agua, los bosques, los océanos y la biodiversidad.

La transición hacia los sistemas alimentarios sostenibles implica pasar de los enfoques de linealidad a la circularidad en la cadena de suministro de comestibles; y de la complejidad a la digestibilidad de los alimentos. En cada eslabón de la cadena de suministro es posible introducir cambios que prioricen el valor nutritivo de los productos, como se aprecia en la Figura 4.3.

²¹ Fanzo, J. 2019. Intersessional Event on Nutrition on Food Systems Framework & Typologies. In Open Meeting on Food Systems (en línea, videoconferencia). Roma, Italia. FAO. 2hrs 53min 37seg., son., color. Consultado 30 de jun. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/webcast/home/en/item/4925/icode/>

²² Milano Group. 2018. Food systems for sustainable development: proposals for a profound four-part transformation, Agronomy for Sustainable Development. 38, 41. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0519-1>

Figura 4.3. Puntos de entrada y salida a lo largo de la cadena de valor nutricional²³.



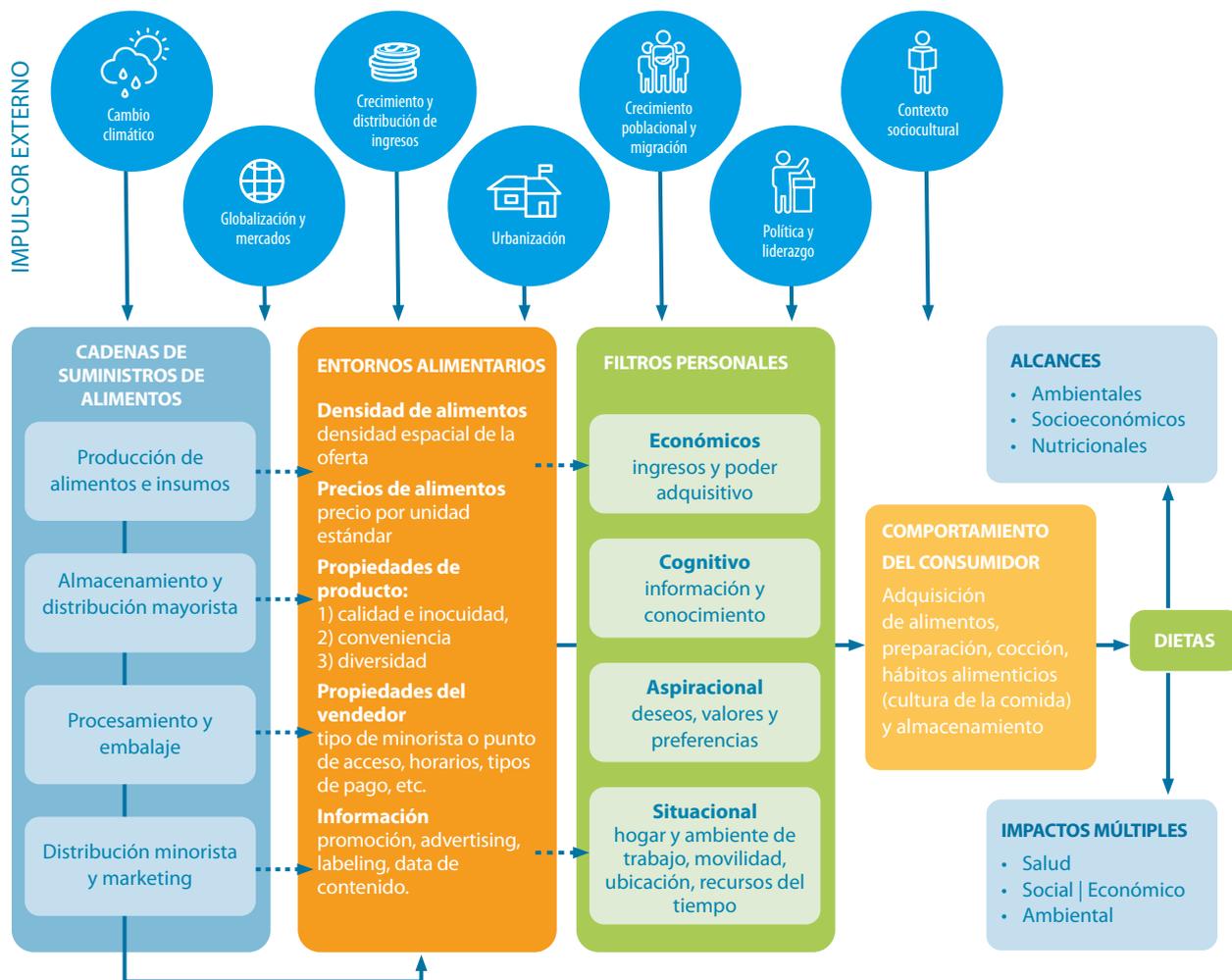
Los sistemas alimentarios son complejos. Su alcance comprende distintos niveles que van desde cada hogar hasta el país de que se trate, e involucran múltiples agentes: productores, intermediarios, distribuidores, clientes y gobiernos. La definición de los alimentos a producir y distribuir parte de la calidad de la dieta de cada persona y llega hasta las estructuras de repartición a los consumidores.

El enfoque de sistemas alimentarios propuesto por la FAO reconoce esta complejidad e identifica sus diferentes componentes y la interacción que existe entre ellos, con el propósito de que los proyectos de análisis y transformación de dichas estructuras consideren todos esos elementos. La representación gráfica de un sistema alimentario, adaptado del propuesto por la FAO, se aprecia en la Figura 4.4.



²³ Fanzo, J.C.; Downs, S.; Marshall, Q.E.; de Pee, S.; Bloem, M.W. 2017. Value Chain Focus on Food and Nutrition Security. In Nutrition and Health in a Developing World, pp. 753-770. Springer International Publishing.

Figura 4.4. Enfoque de sistemas alimentarios²⁴.



La investigación de sistemas

La adecuada aplicación del enfoque de sistemas alimentarios en proyectos de investigación debe partir de las siguientes premisas:

- Los sistemas están compuestos de “propiedades emergentes” (subsistemas).
- La escala y la resolución van de la mano.
- Los sistemas alimentarios incluyen sistemas “duros” (el flujo de nutrientes) y “blandos” (gobernanza y toma de decisiones).
- La investigación del sistema es por definición transdisciplinaria.
- La acción en sistema es por definición multiagente.
- La comprensión de los impulsores del comportamiento del sistema (ideas sobre causalidad).

Desde la perspectiva de sistemas, se puede identificar distintos puntos de acceso a innovaciones alimentarias. Por ejemplo, algunas políticas y programas para aumentar la entrada de la nutrición en la cadena de suministro podrían ser la mejora en las prácticas de producción, el enriquecimiento de alimentos y la reformulación de productos, entre otros. En tanto, algunas acciones en sentido opuesto podrían ser el otorgamiento de subsidios para producir alimentos menos nutritivos, los acuerdos comerciales que limiten el “espacio político” para formular políticas dirigidas a mejorar la nutrición, etc.

Por el lado del entorno alimentario, algunos ejemplos de iniciativas para mejorar su calidad son el etiquetado nutricional objetivo y claro de los productos y las políticas de precios que favorezcan a los comestibles más nutritivos. Por el contrario, algunas acciones que pueden dar lugar a entornos no saludables son el etiquetado nutricional engañoso y la libre comercialización de alimentos y bebidas dirigidos a los niños.

²⁴ Nutrition and food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on the World Food Security. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i7846e.pdf>.

Agrobiodiversidad y sistemas alimentarios

La agrobiodiversidad o diversidad biológica asociada a la agricultura es un subconjunto de la biodiversidad en general. Se refiere a la variedad y variabilidad de animales, plantas y microorganismos que se utilizan directa o indirectamente para la alimentación y la agricultura.

A partir de una perspectiva integral de transformación de los sistemas alimentarios, es imprescindible considerar la agrobiodiversidad en sus múltiples escalas (desde la genética de los productos hasta las regiones de cultivo) y vincularla con la gobernanza (valores socioeconómicos y bioculturales); el cambio global (valores de adaptación y resiliencia); la ecología y evolución (valores biológicos); y la dieta, nutrición y salud de las personas (valores de bienestar).

La agrobiodiversidad es una estrategia que desde tiempos ancestrales los productores andinos han aplicado con éxito para adaptarse a los cambios climáticos. De hecho, la agrobiodiversidad es un capital natural esencial para la región de los Andes, que ha permitido el desarrollo genético de múltiples variedades de papa adaptables y resistentes a distintas condiciones climáticas y eventos extremos.

La Asociación de Guardianes de Papa Nativa del Centro del Perú (AGUAPAN) es un caso de éxito de promoción de la agrobiodiversidad. El objetivo de esta organización es reconocer los derechos de los productores guardianes de la agrobiodiversidad, tal como lo estipula la cláusula 9 del Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para

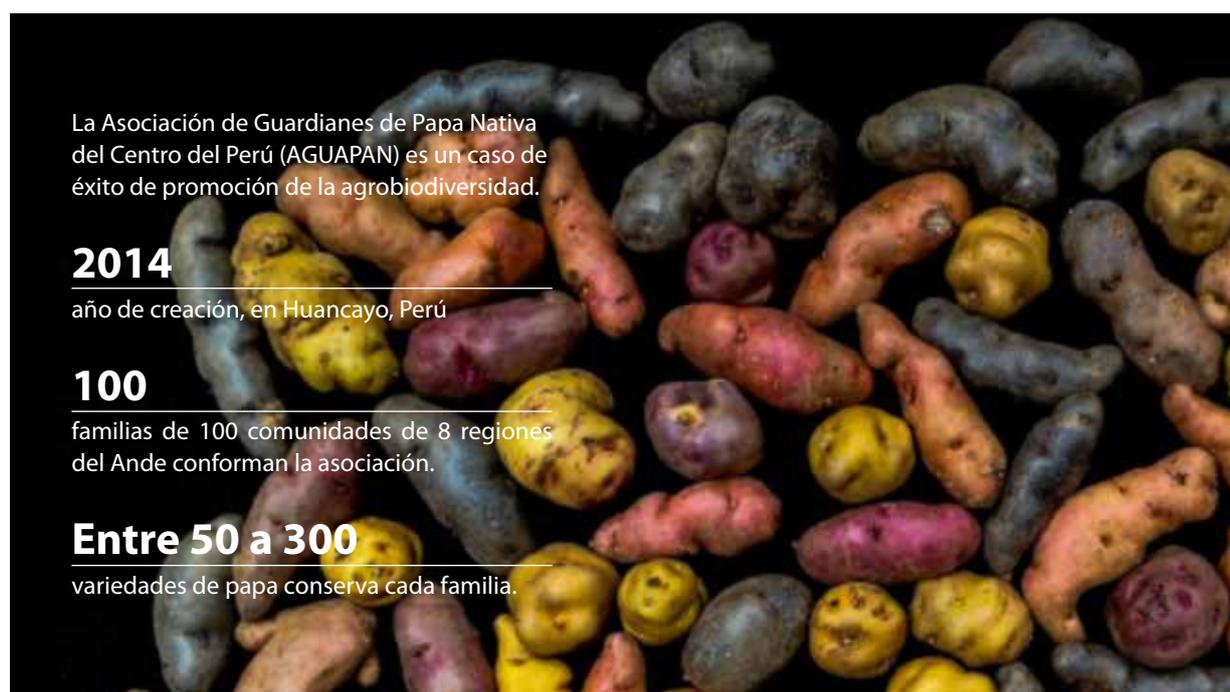
la Alimentación y la Agricultura (TRFAA), que promueve que sus afiliados mantengan las papas nativas y el conocimiento asociado.

Creada en 2014, esta agrupación sin fines de lucro está integrada por agricultores de las regiones Ancash, Ayacucho, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Lima y Pasco, comprometidos con la seguridad alimentaria de sus familias y comunidades. Conforman la AGUAPAN cien familias de cien comunidades de las regiones señaladas, y cada familia conserva entre 50 y 300 variedades de papa.

Como parte de sus programas de responsabilidad social, diversas empresas de mejoramiento genético otorgan apoyos financieros a los integrantes de la AGUAPAN para que mantengan la biodiversidad de la papa. Esta organización también ha posibilitado que los agricultores participantes expresen sus demandas y necesidades al Estado; como la exigencia del cumplimiento del TRFAA, que dirigieron a las autoridades peruanas en 2017, a través de la Declaración de Laraos.

Asimismo, la AGUAPAN se ha convertido en una plataforma para que sus afiliados promuevan nuevas mezclas de papa; como fue el concepto Miski Papa, lanzado al mercado en 2020 bajo un esquema de entrega directa del producto.

Otro caso exitoso de agrobiodiversidad son los diferentes proyectos de selección participativa de variedades de papa (SPV) basados en el diseño Mamá y Bebé, que ha impulsado el Centro Internacional de la Papa. La aplicación de este modelo ha dado resultados positivos en países latinoamericanos (Colombia y Costa Rica), así como también en naciones asiáticas (Bután).



La Asociación de Guardianes de Papa Nativa del Centro del Perú (AGUAPAN) es un caso de éxito de promoción de la agrobiodiversidad.

2014
año de creación, en Huancayo, Perú

100
familias de 100 comunidades de 8 regiones del Ande conforman la asociación.

Entre 50 a 300
variedades de papa conserva cada familia.

Comentario general

En todo el mundo los sistemas alimentarios son presionados actualmente por factores como la urbanización, la globalización, el crecimiento económico, los cambios tecnológicos, el procesamiento de los alimentos, el marketing y los consiguientes cambios en los hábitos de consumo. Estas presiones hacen necesario que estos sistemas transiten hacia otros que proporcionen alimentos nutritivos, pero en forma sostenible.

Considerando que los sistemas alimentarios contribuyen al generar eventos asociados con el cambio climático, han surgido propuestas para aplicar estrategias basadas en la agrobiodiversidad como una manera de contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional, y también de los ecosistemas. Ello demanda una combinación del saber hacer ancestral y de la aplicación de conocimientos modernos basados en la ciencia y la tecnología. De hecho, la agrobiodiversidad es una estrategia que —desde tiempos ancestrales— han aplicado con éxito los productos andinos.





SEMINARIO 5

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS²⁵

PONENTES



Wilmer Pérez

Investigador Asociado en el Centro Internacional de la Papa en Perú.



Miguel Ángel Gonzales Aldana

Responsable Técnico del Centro Internacional de la Papa en Bolivia.



Jorge Luis Crespo

Responsable del Laboratorio de Entomología de la Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA) en Bolivia.



Carmen Castillo Carrillo

Investigadora del Departamento Nacional de Protección Vegetal del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Ecuador.

²⁵ Fecha de la exposición: 11 de mayo de 2021. Forma parte del módulo 2: Prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligentes para la producción de papa. Elaborado a partir de la presentación del ponente.

SEMINARIO 5

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

Manejo integrado del tizón tardío de la papa

El tizón tardío (*Phytophthora infestans*) o rancha es la principal enfermedad que afecta a todos los cultivos de papa, desde los que están a nivel del mar hasta los que se encuentran a 4,300 metros sobre el nivel del mar. En 2008, se estimaba que este mal causaba pérdidas anuales por mil millones de euros en Europa, y por 2,750 millones de dólares en los países en vías de desarrollo.

La alteración de temperaturas y humedades causadas por el cambio climático ha favorecido la propagación del tizón tardío hacia zonas de los Andes con mayor altitud, que antes estaban exentas de esta plaga. La difusión de la rancha no solo ha incrementado el daño a los cultivos, también ha puesto en peligro de extinción a diversas especies nativas de papa susceptibles a esta enfermedad. Esto significa que el tizón tardío se ha convertido en una amenaza para la seguridad alimentaria de la región andina.

En un principio se consideraba que la *Phytophthora infestans* era un hongo y, como tal, se le combatía con fungicidas. Sin embargo, análisis filogenéticos posteriores revelaron que esta especie era un oomiceto, que se diferencia de los hongos por la composición de su pared celular, entre otros factores. Mientras la pared celular de los oomicetos se compone de hemicelulosa, la de los hongos es de quitina.

La *Phytophthora infestans* se propaga sexual y asexualmente. La reproducción sexual se da a partir de la presencia de los grupos de apareamiento A1 y A2, que inicialmente solo existían en México. Sin embargo, desde los años ochenta esta forma de diseminación se ha extendido al resto del mundo. Esta expansión ha implicado la formación de nuevas progenies más agresivas, más resistentes a los fungicidas sistémicos, más adaptables a los ambientes climáticos y que aparecen mucho más temprano en el ciclo del cultivo.

En muchos países se han liberado variedades de papa con niveles de resistencia de moderados a altos contra

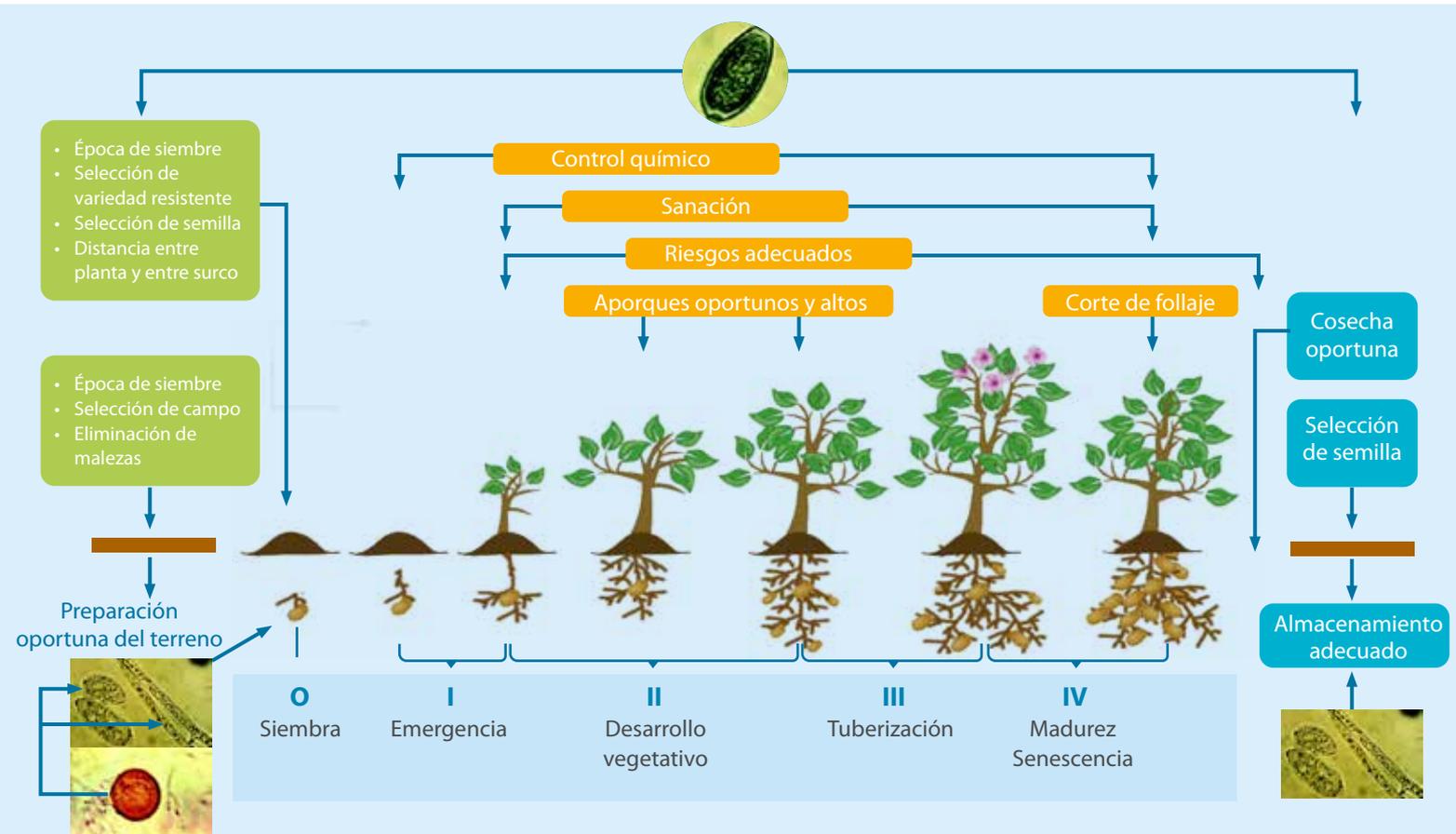
el tizón tardío. Con el paso del tiempo, sin embargo, estos cultivares se han vuelto susceptibles a esta plaga. Esto no se debe a una disminución de la resistencia de las variedades, sino a mutaciones experimentadas por el patógeno, que le permiten vencer esa protección natural. Otro factor que limita la contención de la rancha es el hecho de que las principales compañías que procesan papas fritas, que constituyen uno de los mayores mercados de la papa, demandan variedades susceptibles a esta enfermedad.

El uso de pesticidas es el principal recurso de los agricultores para controlar el tizón tardío. En América Latina, el uso indiscriminado de este método ha generado altos riesgos de contaminación tanto para los productores (que los aplican sin los equipos de protección adecuada), como para los consumidores y el propio ambiente.

El manejo integrado de una plaga es un conjunto de componentes que nos ayudan a combatirla. El tizón tardío se presenta desde la fase de emergencia hasta la cosecha. Por ello, el control de esta enfermedad debe hacerse durante todo el ciclo. En este caso, el Centro Internacional de la Papa (CIP) propone que el manejo integrado incluya el uso de variedades resistentes, la utilización racional de químicos, la desinfección de los cultivos, los riegos adecuados (evitar los encharcamientos que generen microclimas que favorecen el desarrollo del tizón tardío), los aporques altos y oportunos, el corte de follaje, la cosecha oportuna, la selección de semilla y el almacenamiento adecuado.



Figura 5.1. Propuesta del CIP para el manejo integral del tizón tardío.



El CIP ha creado un semáforo para la toma de decisiones de los productores. Esta herramienta asigna un color según el nivel de tolerancia de la semilla utilizada por los agricultores frente al tizón tardío: susceptible (rojo), moderadamente resistente (amarillo) o resistente (verde). Este método considera la fortaleza de la semilla, las condiciones del medio ambiente y el tiempo transcurrido desde la última aplicación del pesticida para determinar cuándo y qué tipo de químico se volverá a emplear.

Este sistema se ha validado a través de diferentes experimentos realizados con agricultores en Ecuador y Perú, y su uso ha permitido reducir el gasto en fungicidas y el riesgo de contaminación por estos químicos.

Prácticas climáticamente inteligentes para el gorgojo de los Andes

El gorgojo de los Andes incluye diversas especies que se encuentran diseminadas desde Venezuela hasta la parte norte de Argentina y Chile. El ciclo de vida de este parásito dura poco más de un año y está sincronizado con las épocas de siembra de la papa, lo que favorece su propagación. En su fase larval, se alimenta de los tubérculos; y en su etapa adulta, de las hojas de la planta.

Las principales especies de gorgojo que atacan los cultivos de papa en los Andes son el *Rhigopsidius piercei* y el *Premnotrypes spp.* El *Rhigopsidius piercei* se detectó en los años noventa y afectaba al 10% de los cultivos infestados de la región, contra el 90% que tenían *Premnotrypes spp.* Sin embargo, estas proporciones se invirtieron a fines de la primera década de este siglo, debido al aumento de temperaturas en la región (causado por el cambio climático), que favoreció la propagación del *Rhigopsidius piercei*, más resistente a la amplitud térmica.

A partir del conocimiento sobre el comportamiento de estas especies, se aplican estrategias de control de distinta naturaleza, entre las que destacan las explicadas a continuación.

Figura 5.2. Especies de gorgojos.



Rhigopsidius piercei

Premnotrypes spp.

Métodos de control mecánico

- La recolección manual de adultos en las hojas para reducir su propagación.
- El uso de barreras inertes o vivas para evitar el acceso de los gorgojos, toda vez que estos insectos se trasladan por tierra.
- La utilización de mantas o bolsas en la cosecha, para evitar que las larvas se incrusten en el suelo, e interrumpir así su ciclo biológico.
- La construcción de zanjas perimetrales en las parcelas y en los lugares de almacenamiento del producto para impedir la diseminación del gorgojo.
- El empleo de trampas de carga o de refugio para atrapar a los insectos.

Métodos de control cultural

- La remoción del suelo de los sitios donde los agricultores amontonan las cosechas, para interrumpir el desarrollo de las larvas que se hayan insertado en él.
- El arado profundo de los terrenos donde se vaya a plantar la semilla, con el objetivo de interrumpir el ciclo larvario.
- El uso de semilla de calidad, que impide la diseminación del insecto.
- La eliminación de las plantas espontáneas, que sirven de alimento al gorgojo una vez que sale de la tierra.
- El aporque alto, que evita que las larvas lleguen a los tubérculos.
- La cosecha oportuna, que ayudará a disminuir los daños de un potencial ataque de gorgojo.

Métodos de control biológico

- El uso de hongos entomopatógenos u otros microorganismos que afectan al gorgojo.

Métodos de control químico

- La utilización de plaguicidas compuestos de piretroides y neonicotinoides.

De la aplicación de los métodos señalados, se desprenden las siguientes consideraciones para el Manejo Integrado del Gorgojo:

- Las prácticas mecánicas y culturales son amigables con el medio ambiente porque no emiten gases de efecto invernadero.
- Las prácticas de mejor implementación son la remoción de suelo, el uso de la semilla, la eliminación de plantas espontáneas, el aporque alto, la cosecha sobre mantas o en bolsas y el uso de barreras plásticas.
- Es importante monitorear los lugares donde el gorgojo pueda infestar a la parcela, por medio de la instalación de trampas de caída.

Figura 5.3. Daños causados por la polilla de la papa.



Manejo integrado de la polilla de la papa en Bolivia

La *Phthorimaea operculella* y la *Symmetrischema tangolias* son las dos principales variedades de polilla que existen en Bolivia. La primera es nativa de la región y está presente en la mayoría de las zonas paperas del país. La segunda es una especie introducida que, en la actualidad, está presente en todas las zonas paperas bolivianas.

La alteración de las condiciones ambientales derivadas del cambio climático ha favorecido el establecimiento y dispersión de la polilla. Estas polillas tienen un tiempo de vida de entre 80 y 93 días, y causan sus mayores daños a la papa durante el almacenamiento. Son dos las principales prácticas para el control de la polilla de la papa en campo:

1. Una es el monitoreo de poblaciones de polillas, a través de trampas con feromonas. La población de esta plaga aumenta al inicio de la floración y su crecimiento continúa hasta el final de ciclo. El monitoreo con feromonas permite identificar el momento adecuado para aplicar pesticidas, en función del tamaño que alcance la población de polillas.
2. La segunda técnica consiste en recoger los tubérculos superficiales antes de iniciar la cosecha y separarlos, dado que son los más susceptibles de alojar y, por tanto, diseminar la polilla.

Para el manejo del insecto en almacén, se recomienda limpiar cuidadosamente el espacio que se ocupará para almacenamiento y, de ser posible, desinfectarlo. De esta manera se eliminarán posibles poblaciones de polilla que hayan quedado allí de cosechas anteriores. También es importante seleccionar la papa antes de almacenarla

para conservar únicamente los tubérculos libres de polilla. Ya en almacén, la papa se puede proteger con los siguientes métodos:

1. Aplicar el bioinsecticida Matapol Plus, diseñado para pequeños y medianos agricultores, que es efectivo contra ambas especies de polilla e inocuo para el consumo humano y animal.
2. Guardar la papa en sacos de cinco kilos para favorecer su aislamiento y evitar la propagación de la polilla, en caso de que no se hayan detectado tubérculos contaminados.
3. Usar trampas con feromonas, que atraerán a las polillas adultas provenientes de tubérculos contaminados no detectados.

En muchas zonas de Bolivia los productores han dejado de almacenar papa por el problema de la polilla. Sin embargo, otros agricultores han empleado con éxito las mencionadas estrategias de control en almacén, por lo que es importante continuar promoviendo su uso.

Manejo integrado de la punta morada de papa en Ecuador

Debido a los estragos que ocasiona, la punta morada de papa²⁶ (PMP) representa un riesgo para la seguridad alimentaria de las regiones andinas y para diversas especies de papas nativas locales. Esta enfermedad causa pérdidas cuantiosas en la producción de la papa, que pueden llegar hasta la totalidad de los cultivos.

Figura 5.4. Pérdidas de papa por punta morada en Ecuador (en hectáreas y toneladas).



La PMP, detectada en 2013 en Ecuador, provocó una reducción de casi 60% en la superficie sembrada y una pérdida anual de un millón de plazas de trabajo; asimismo, generó un incremento del 42% en el precio de la papa en 2018. Cabe destacar que el combate de esta enfermedad ha requerido el aumento de entre seis y ocho veces en el uso de agroquímicos, lo que ha incrementado entre 20% y 25% el costo de producción y ha causado una mayor contaminación ambiental.

La punta morada se transmite por tubérculo y por vectores. Sus principales síntomas en campo son clorosis, coloración púrpura y arrosamientos en la parte apical de la planta, alteraciones en los tallos, filodias en las flores, tubérculos aéreos y plantas poco desarrolladas.

Ya cosechadas, algunas papas suelen presentar brotes ahilados anormales.

Asimismo, se puede apreciar necrosis en el anillo vascular cuando se corta el tubérculo en forma transversal. Al freírse, estos cortes toman el patrón característico del chip cebrá, o bien un pardeamiento general.

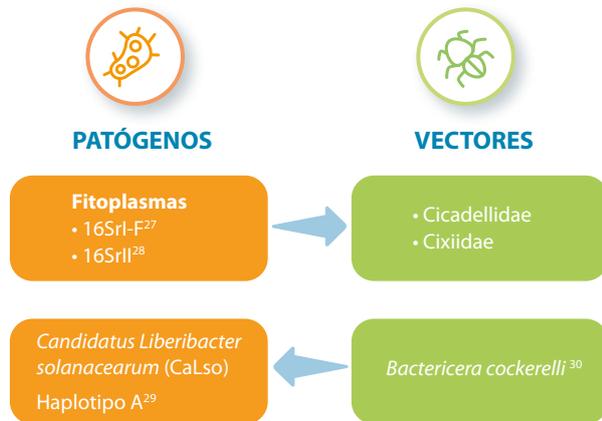
Esta enfermedad también ataca con altas pérdidas a otras solanáceas como la uvilla, el tomate de árbol, el tomate riñón y el pimiento. En Ecuador, se ha detectado la presencia de dos grupos de fitoplasmas en plantas con síntomas de punta morada y de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) del haplotipo A. Asimismo, se sospecha que hay otros patógenos involucrados en esta sintomatología, los que están siendo investigados. En este contexto, los principales patógenos y vectores de la PMP se indican en la figura 5.5.

El control de la PMP no puede basarse en un único componente, requiere un manejo integrado porque no existen agroquímicos efectivos contra esta enfermedad, que se deriva de un complejo conformado por insectos/vectores, patógenos y plantas hospederas. En este sentido, las principales acciones que se recomiendan para el manejo integrado de la PMP son:

- Usar semilla libre de patógenos, que provenga de lotes sanos, y variedades mejoradas.
- Manejar y eliminar los focos de infestación.
- Tomar en cuenta si la producción es para semilla o para consumo.
- Aplicar programas regionales de manejo.
- Implementar sistemas de alerta temprana y mapas de riesgo.
- Establecer controles culturales, como la selección positiva/negativa de plantas enfermas.
- Utilizar productos alternativos (aceites agrícolas, biorracionales, arcillas, etc.) que sean efectivos.
- Emplear control legal.

²⁶ La punta morada de la papa (PMP) es la una enfermedad causada por fitoplasmas. Es de importancia mundial, ya que afecta cultivos en América, Europa, Asia y Australia.

Figura 5.5. Principales patógenos y vectores de la PMP en Ecuador.



- Aprovechar distintos métodos de monitoreo (trampas amarillas, redes entomológicas, observación directa de la parcela y de lotes aledaños).
- Administrar insecticidas partiendo de la evaluación de diferentes factores: su modo de acción en la planta, su mecanismo de afectación en los insectos, el estado de desarrollo de los insectos, la definición de umbrales de tolerancia de la enfermedad por planta y trampa, la rotación del grupo químico, la frecuencia de aplicación, su costo, su impacto ambiental y disponibilidad, y la tecnología de aplicación, entre otros.
- Considerar alternativas de control biológico mediante hongos entomopatógenos (*Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea*, *Lecanicillium muscarium*, *Beauveria bassiana*), ácaros benéficos (*Amblydromalus limonicus*), depredadores (coccinélidos, neurópteros, hemípteros, dermápteros) y parasitoides (*Tamarixia triozae*).

Comentario general

El manejo integrado de plagas es un enfoque que privilegia el uso de mecanismos naturales de control de plagas que son amigables con el medio ambiente. Respecto al manejo de tizón tardío, requiere la participación colectiva de la mayoría de los actores, incluyendo a los agricultores y las agencias de gobierno. La capacitación de los agricultores debe ser la base para lograr un buen manejo de la enfermedad. El uso de variedades resistentes debe ser la primera línea de defensa, y los fungicidas deben ser usados dentro de una estrategia de manejo integrado.

En cuanto al gorgojo, a fin de planificar la estrategia de manejo integrado más adecuada se debe conocer la especie que se tenga en el lugar de cultivo. Este manejo debe ser parte de un esfuerzo comunitario liderado por las autoridades de las regiones. En cuanto a la polilla, en Bolivia hay productores que dejan de almacenar papa por el problema que representa esta plaga; en otras zonas, los agricultores usan productos químicos para el control, por recomendación de los comercializadores de plaguicidas. Pero hay otros que han implementado la estrategia contra la polilla en almacén, con excelentes resultados.

En cuanto a la punta morada, se debe tomar conciencia de la gravedad de los patógenos y vectores asociados. En este contexto, se debe inmovilizar el material vegetal proveniente de países sin el debido procedimiento regulatorio y cuarentenario; aplicar medidas extremas de vigilancia y cuarentena; asignar recursos en los países tan pronto se detecte la presencia de la punta morada; adoptar acciones inmediatas ante la presencia de la punta morada para evitar que el problema se torne grave; usar semilla de calidad; instrumentar el manejo integrado de control, que es un componente clave para la mitigación y adaptación frente a la enfermedad; emplear insecticidas de manera racional; utilizar biorracionales; y preservar a los enemigos naturales de la punta morada.

²⁷ Castillo, C. C.; Paltrinieri, S.; Bustamante, J. B.; Bertaccini, A. 2018. Detection and molecular characterization of a 16Srl-F phytoplasma in potato showing purple top disease in Ecuador. *Australasian Plant Pathology*, 47, 311-315.

²⁸ Caicedo, J.M.; Crizón, A.; Pozo, A.; Cevallos, L.; Simbaña, L.; Rivera, V.; Arahana. 2015. First report of 'Candidatus Phytoplasma aurantifolia' (16SrlI) associated with potato purple top in San Gabriel, Carchi, Ecuador. *New Dis. Reports*, 32.

²⁹ Caicedo, J.; Simbana, L.; Calderón, D.; Lalanguí, K.; Vargas, L. 2020. First report of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' in Ecuador and in South America. *Australasian Plant Disease Notes*. 15. 10.1007/s13314-020-0375-0.

³⁰ Castillo, C.; Zhen, F.; Burckhardt, D. 2019. First record of the tomato potatopsyllid *Bactericera cockerelli* from South America. *B Insectol* 72:85-91

SEMINARIO 6

MEJOR USO Y GESTIÓN DEL AGUA³¹

PONENTES



David A. Ramírez

Científico del Centro Internacional de la Papa (CIP), Perú.



Johan Ninanya

Asistente de investigación junior en el Centro Internacional de la Papa (CIP), Perú.

³¹ Fecha de la exposición: 18 de mayo de 2021. Forma parte del módulo 2: Prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligentes para la producción de papa. Elaborado a partir de la presentación de los ponentes.

SEMINARIO 6

MEJOR USO Y GESTIÓN DEL AGUA

Desafío global de insuficiencia de agua

Contar con el recurso hídrico suficiente constituye un creciente desafío para la humanidad. Por un lado, el crecimiento poblacional demandará una mayor producción de alimentos, lo que a su vez implicará un mayor consumo de agua; se necesitarán entre 2.5 y 3 veces más de agua para alimentar a la población que se estima habrá en 2050³². Pero, por otro lado, cada vez hay menos agua disponible para producir alimentos, debido al calentamiento global.

Debido a que el 70% del agua dulce que se consume a nivel global se dedica a la agricultura, son diversos los cultivos vulnerables a la falta del recurso hídrico. Uno de ellos es la papa, que es sensible a la sequía.

El grado de afectación de la sequía hacia la papa depende del momento del cultivo en que la restricción de agua ocurre (entre más temprano se presente, el daño será mayor), de su duración y de su intensidad. Sin embargo, la respuesta del producto variará según el escenario específico de sequía que enfrente. Además, según la fase del cultivo en que se registre la restricción de agua, se presentará el fenómeno de memoria, que permitirá a las plantas sometidas a estrés hídrico adaptarse mejor a las sequías en los siguientes cultivos.

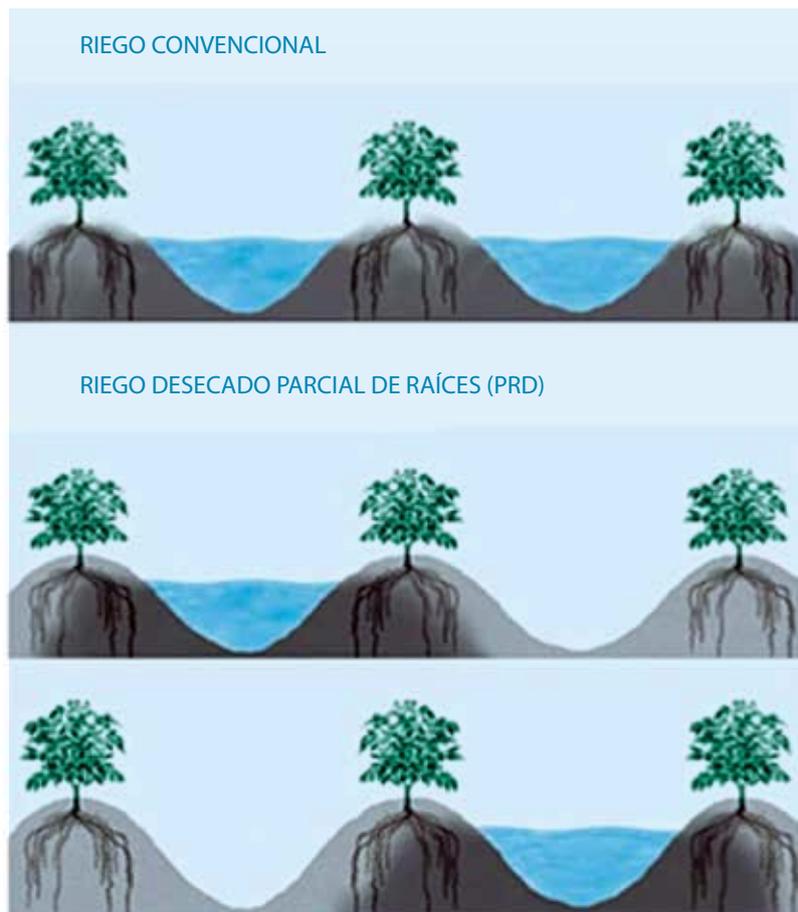
Métodos de riego eficientes en el uso de agua

El desecado parcial de raíces (PRD, por sus siglas en inglés³³) es uno de los métodos de riego más eficientes en el uso de agua. Consiste en el riego alternado de los surcos. La primera vez se riega una serie intercalada de surcos, en la siguiente ocasión se riega la serie intercalada que no fue regada en la primera oportunidad, y así sucesivamente.

Los siguientes son algunos aspectos importantes para tomar en cuenta en la aplicación del PRD:

1. Se debe conocer el caudal de agua (litros/hora o m³/minuto) del canal que la provee, para calibrar la dotación adecuada y tener evidencia de la eficiencia de este método.
2. Se recomienda aplicar el tratamiento luego del inicio de la tuberización.
3. Es necesario registrar el tiempo de inicio (cuando el agua ingresa al surco que toca regar) y el tiempo final (cuando los surcos se han inundado y el ingreso de agua ha terminado).

Figura 6.1. Técnicas de riego.



³² Lal, R. 2013. Food Security in a Changing Climate. Ecohydrol. Hydrobiol. 13, 8–21.

³³ Partial root-zone drying.

El uso del PRD aporta múltiples beneficios: permite ahorrar hasta un 50% del agua destinada al cultivo, incrementa la producción de tubérculos comerciales, aumenta la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y eleva la cantidad de antioxidantes en el producto. También se ha comprobado que el PRD genera mejores resultados cuando se aplica mediante sifones, que permiten una irrigación eficiente de los cultivos. Comparado con el riego por goteo, el PRD ha resultado más económico y genera menos emisiones contaminantes.

Asimismo, los estudios en campo han demostrado que la conductancia estomática es el mejor indicador para medir el estado hídrico de la papa, por lo que se recomienda utilizarla. En ese sentido, en Perú se ha promovido el uso de cámaras de imágenes térmicas (TIP, por sus siglas en inglés) para la detección temprana del estrés hídrico de la papa; esto se realiza mediante una aplicación y dispositivo (diseñados para teléfonos celulares) que se denomina TIPCIIP. Es decir, se trata de una tecnología económica, la cual ha abaratado los costos de 7,000 a 250 dólares. Más información de TIPCIIP se encuentra en: [tutorial](#) y [software](#).

Los pasos a futuro en el uso de este tipo de tecnologías son generar sensores que permitan registrar la temperatura en continuo, para tomar decisiones oportunas de riego; utilizar imágenes satelitales que analicen el estrés hídrico de los cultivos para abaratar aún más los costos y ampliar el alcance territorial de las evaluaciones; y recurrir a la detección sensorial remota con el apoyo de drones e imágenes satelitales, cuya utilización es cada vez más frecuente.

Modelación para evaluar y predecir los requerimientos de agua

Lo que determina el rendimiento de un cultivo son sus características propias y tres tipos de factores. El primero de ellos es el de los factores definitorios (medioambientales) en que se desarrolla el cultivo: concentración de CO₂, radiación y temperatura. Estas condiciones determinan el **rendimiento potencial** (máximo) que puede alcanzar un cultivo.

El segundo grupo lo constituyen los factores limitantes, que son el agua y los nutrientes. Estos elementos, que están bajo el control relativo del agricultor, establecen el **rendimiento alcanzable** de un cultivo. Finalmente están los factores reductores, que son las plagas y enfermedades. Estas variables son difíciles de controlar

por el productor y determinan el **rendimiento actual** que se obtiene en campo.

Las interacciones que ocurren entre todos esos factores pueden analizarse de diferentes maneras. Una de ellas es el uso de modelos de cultivos. En este caso, se utiliza un modelo de crecimiento de cultivo (MCC), que es una representación abstracta de un sistema físico complejo (suelo-planta-atmósfera), en el que se desarrolla el producto.

Hay dos grandes familias en el estudio de los MCC. Una está basada en el uso eficiente de radiación (RUE, por sus siglas en inglés), que indica que la producción de biomasa es proporcional a la cantidad de radiación que puede absorber un cultivo. La otra está basada en el uso eficiente del agua (WUE, por sus siglas en inglés), que señala que la producción de biomasa es proporcional a la cantidad de agua que recibe un cultivo. En total existen 32 MCC para la papa³⁴. De ellos, el Centro Internacional de la Papa (CIP) ha desarrollado el modelo SOLALUM, que se basa en el RUE.

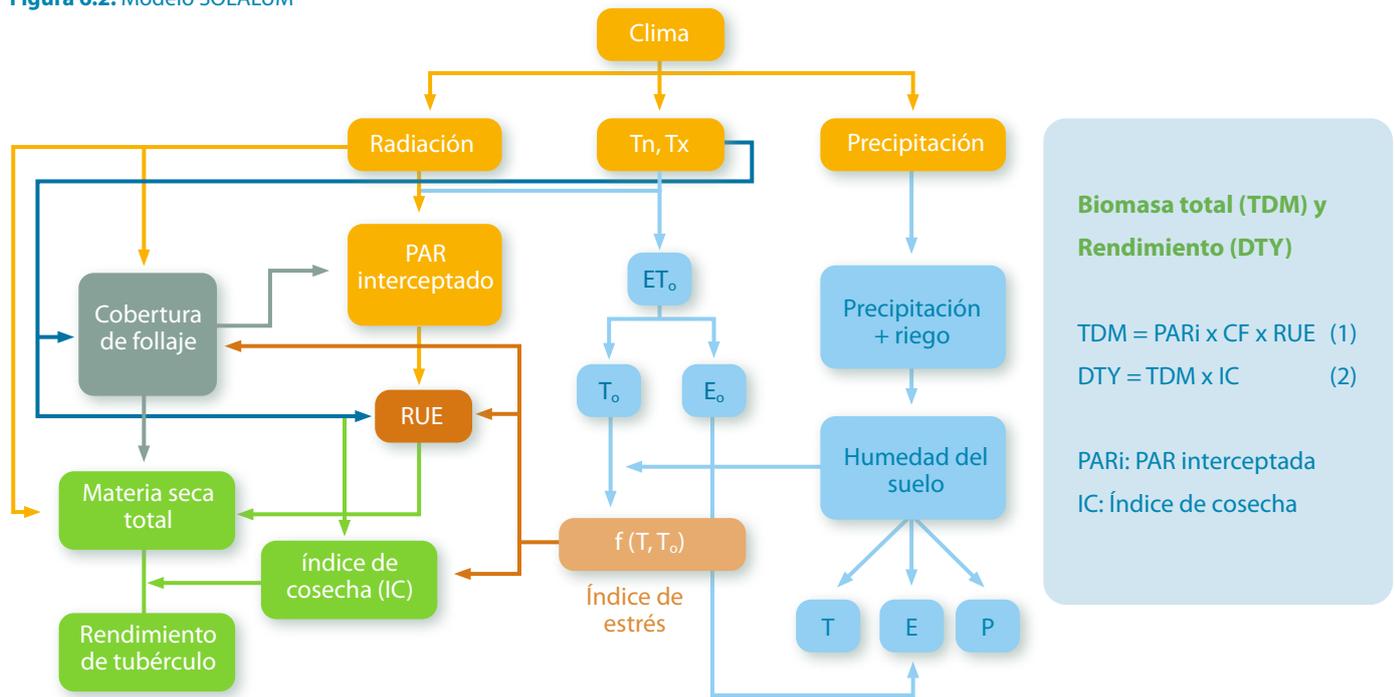
El modelo Solalum es un software libre, por lo que está a disposición (junto con un tutorial para utilizarlo) de toda persona que desee descargarlo y usarlo (se encuentra en este [vínculo](#)). Este modelo de eficiencia estima el rendimiento de la papa bajo condiciones óptimas y de restricción hídrica.

Uso del software TIPCIIP



³⁴ Raymundo, R.; Asseng, S.; Cammarano, D.; Quiroz, R. 2014. Potato, sweet potato, and yam models for climate change: A review. Field Crops Research 166: 173-185

Figura 6.2. Modelo SOLALUM ^{35,36,37}



Biomasa total (TDM) y Rendimiento (DTY)

TDM = $PAR_i \times CF \times RUE$ (1)

DTY = TDM \times IC (2)

PAR_i: PAR interceptada

IC: Índice de cosecha

La modelación consiste en la búsqueda de funciones matemáticas que describan el comportamiento del crecimiento del cultivo. El modelo SOLALUM incluye dos funciones matemáticas. La Función Beta (V) modela el crecimiento vegetativo de la planta, mientras que la Función Gompertz (R) modela el crecimiento de biomasa o reproductivo (la producción del tubérculo).

De igual manera, el CIP desarrolló un protocolo para realizar experimentos de campo con fines de modelación. En él se detalla la forma de establecer los ensayos, las variables a medir y las maneras de calcularlas, y la manera de instalar los equipos meteorológicos para obtener los datos, entre otros aspectos.

El CIP también creó el programa libre *Image Canopy Software* para estimar la cobertura de follaje, que permite evaluar el crecimiento vegetativo. En este caso, los ensayos de calibración del modelo utilizan datos temporales del crecimiento vegetativo (pero lo mismo se aplica para cualquier otra variable cuyo comportamiento se pretenda modelar), obtenidos a partir de subparcelas que se muestrean secuencialmente. Las muestras consisten en imágenes tomadas con cámara digital a 80 centímetros del dosel, las cuales se procesan con el software. SOLALUM utiliza información de tres elementos para realizar sus estimaciones:

1. Datos meteorológicos (principalmente radiación y temperatura).
2. Ocho parámetros del cultivo: El RUE, la concentración de materia seca del tubérculo, tres relacionados con el crecimiento vegetativo o Función Beta (el valor máximo de la cobertura de follaje, el tiempo termal cuando se alcanza ese valor máximo y el tiempo termal cuando ocurre la tasa máxima de crecimiento) y tres relacionados con el crecimiento reproductivo o Función Gompertz (el valor máximo del índice de la cosecha, el tiempo termal cuando se logra la tasa máxima de partición y el tiempo termal cuando ocurre la pendiente inicial). La Función Beta y la Función Gompertz se ajustan con regresiones no lineales.
3. Parámetros del suelo y relacionados con la fonología del cultivo

Para los casos en que no es posible realizar ensayos en campo, el modelo Solalum cuenta con la herramienta Calculador de Parámetros, que permite reconstruir las curvas de crecimiento vegetativo y reproductivo, y generar los parámetros correspondientes a partir de conocimiento experto. Para ello, se aplican pequeñas encuestas (ver recuadro) que los agricultores pueden responder con facilidad, relacionadas con la tecnología del cultivo que trabajan.

³⁵ Condori, B.; Hijmans, R. J.; Quiroz, R.; Ledent, J. F. 2010. Quantifying the Expression of Potato Genetic Diversity in the High Andes through Growth Analysis and Modeling. *Field Crops Res.* 119, 135–144.

³⁶ Condori, B.; Quiroz, R.; Barreda, C.; Gavilán, C.; Guerrero, J.; Osorio, J. 2017. Solalum: A potato production simulation model. International Potato Center. <https://doi.org/10.21223/P3/E710S6>

³⁷ Quiroz, R.; Loayza, H.; Barreda, C.; Gavilán, C.; Posadas, A.; Ramírez, D. A. 2017. Linking process-based potato models with light reflectance data: Does model complexity enhance yield prediction accuracy? *European Journal of Agronomy* 82: 104–112

Propuesta metodológica para identificación —mediante preguntas— de prácticas de Agricultura Climáticamente Inteligentes aplicables a los Sistemas AAbP

1. ¿Qué variedades de papas siembran?
2. En qué tipo(s) de suelo siembran: arcilloso, arenoso, etc.
3. ¿Cuál es el distanciamiento entre plantas y surcos que suelen usar?
4. En que fechas suelen realizar la siembra.
5. Aproximadamente, a partir de cuantos días después de la siembra ocurre lo siguiente:
 - a) Emergencia de las plantas:
 - b) Inicio de tuberización (o floración):
 - c) El cultivo alcanza su máximo follaje:
 - d) Las hojas (parte superior) empiezan a amarillarse-secarse (senescencia):
 - e) Cosecha:
6. ¿Cuánto es la producción (peso/área) que alcanzan habitualmente?
7. Del 1 al 10. ¿Cuán frondoso considera que llega a ser el follaje del cultivo?

Como ejemplo de sus posibles aplicaciones, el CP se ha utilizado para estudiar los efectos de distintos escenarios de cambio climático sobre diferentes variedades de papa.

Para mejorar las estimaciones, se han incluido en SOLALUM parámetros relacionados con la temperatura del cultivo, dado que este factor capta con mayor precisión la sensibilidad de la planta al estrés hídrico. El modelo se ha utilizado satisfactoriamente hasta para estimar fechas óptimas de siembra, lo que indica su amplio potencial de aplicación.

Comentario general

Importantes medidas de adaptación pueden ser logradas teniendo en cuenta los frentes de la eco fisiología de las plantas, la modelación y el sensoramiento proximal y remoto. Por un lado, la optimización del agua, a través de métodos como el desecado parcial de las raíces o teniendo en cuenta umbrales eco fisiológicos a través de termografía, está mostrando alentadores resultados.

Estas medidas serán importantes y donde exista la necesidad de optimizarla, así como en situaciones luego de la siembra o cosecha de agua. Por otro lado, la modelación de cultivos utilizando modelos sencillos, información satelital y predicción climática, permitirá la recomendación de fechas óptimas de siembra para encontrar ventanas temporales de condiciones futuras propicias, con la finalidad de obtener rendimientos apropiados. Todo ello, junto con la ciencia de datos, internet de las cosas, big data, robótica e inteligencia artificial, nos permitirá adaptarnos mejor a nuestros entornos cambiantes.



SEMINARIO 7

GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SUELO Y DE LA TIERRA³⁸

PONENTES



Pablo Mamani

Investigador de la Fundación para la Promoción de Investigación de Productos Andinos (PROINPA), Bolivia.



Jimmy Ciancas

Investigador de la Fundación para la Promoción de Investigación de Productos Andinos (PROINPA), Bolivia.



Yamil Cartagena

Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Ecuador.

³⁸ Fecha de la exposición: 25 de mayo de 2021. Forma parte del módulo 2: Prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligentes para la producción de papa. Elaborado a partir de la presentación de los ponentes.

SEMINARIO 7

GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SUELO Y DE LA TIERRA

Indicadores de calidad del suelo ³⁹

El término **calidad del suelo** se comenzó a utilizar cuando se reconocieron tres funciones fundamentales del suelo: promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas; atenuar los contaminantes ambientales y patogénicos (calidad ambiental); y favorecer la salud de las plantas, los animales y los humanos.

En este marco, los indicadores de **calidad del suelo** son las herramientas de medición que ofrecen información sobre las propiedades, procesos y características de los suelos. Estos atributos son físicos, químicos y biológicos, y también las relaciones que existen entre ellos.

Los indicadores de calidad del suelo deben permitir analizar la situación actual, identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible, evaluar los posibles impactos antes de una intervención, monitorear el impacto después de las intervenciones antrópicas y ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible. Para ello, deben satisfacer los siguientes requerimientos:

- Integrar procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.
- Ser fáciles de medir y entender.
- Ser aplicables a un amplio rango de ecosistemas y condiciones.
- Reflejar el atributo de sostenibilidad.
- Mostrar los cambios y diferencias entre los sistemas.

Los principales indicadores de calidad del suelo se agrupan en tres clases: físicos, químicos y biológicos (cuadro 7.1).

Cuadro 7.1. Clases de indicadores de calidad del suelo.

Tipo de indicador	Características
Físicos	Textura, profundidad, infiltración, densidad aparente, capacidad de retención y estabilidad de agregados.
Químicos	Materia orgánica (carbono y nitrógeno orgánico), pH, conductividad eléctrica, disponibilidad de nutrientes y capacidad de intercambio catiónico (CIC).
Biológicos	Biomasa microbiana (carbono/nitrógeno), nitrógeno potencialmente mineralizable, respiración microbiana, y abundancia y diversidad de la fauna del suelo.

Existen técnicas simples para medir la calidad del suelo en campo. Algunas de ellas son la infiltración de agua, la estabilidad de agregados, la densidad aparente del suelo, el pH del suelo, la materia orgánica particulada (MOP) y la trampa de microorganismos de suelo.

Salud del suelo en sistemas basados en papa

El enfoque del manejo de la fertilidad del suelo predominó en la región andina hasta el 2000. El objetivo de este modelo era mejorar la economía a partir de la mejora en la productividad de los cultivos. La búsqueda de soluciones para lograrlo estaba a cargo de especialistas en suelos y fertilidad. Es decir, se antepone el saber técnico al saber local. Las propuestas de los expertos consistían en aumentar el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo. Esta perspectiva ignoraba el contexto social y agroecológico en el que se desarrollaban los cultivos.

Sin embargo, posteriormente el manejo de la salud del suelo substituyó a esa visión, y sigue vigente en



³⁹ García, Y.; Ramírez, W.; Sánchez, S. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes, 35(2), 125-138. Recuperado en 09 de julio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&tlng=es.

la actualidad. El propósito de este nuevo modelo es mejorar los medios de vida (que incluyen a los capitales humano, natural, financiero, social y físico) a partir del perfeccionamiento del sistema productivo, tomando el suelo como base.

Este concepto reconoce el conocimiento local, entiende el contexto, promueve la participación de los actores y busca soluciones participativas. Un equipo interdisciplinario monitorea la búsqueda de soluciones que mejoren la salud del suelo y aporten a la resiliencia del sistema productivo. En este enfoque, el contenido de carbono en los suelos es tanto o más importante que el de nitrógeno, fósforo y potasio. Asimismo, considera al cambio climático como una amenaza directa a la salud del suelo.

Es importante apreciar el efecto de la agricultura convencional sobre la salud del suelo. La agricultura de alto rendimiento se basa en el uso intensivo de capital e insumos externos. Su prioridad es mejorar la economía a partir del incremento del rendimiento de los cultivos. Su visión hacia el suelo es de corto plazo: busca solo aumentar su fertilidad, pero sin considerar su sostenibilidad. Por ello, degrada paulatinamente los suelos y tiene un impacto negativo sobre la diversidad.

Igualmente, la agricultura convencional trae consecuencias relevantes a nivel socioeconómico. En el corto plazo, si bien contribuye a reducir la escasez de alimentos, también crea dependencia de insumos externos e incrementa la asimetría social. En el largo plazo, la degradación del suelo genera pobreza y migración.

El enfoque de salud del suelo reconoce la capacidad del suelo de funcionar como un sistema vivo. Desde este ángulo, los suelos sanos mantienen una comunidad diversa de organismos del suelo que ayudan a controlar enfermedades de plantas, (también plagas y malezas), forman asociaciones simbióticas, reciclan nutrientes, mejoran la estructura del suelo (favoreciendo la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo), y elevan la productividad agrícola. En una perspectiva ecosistémica, un suelo sano no contamina su entorno y contribuye a mitigar el cambio climático, por ser un sumidero de carbono.

Los componentes de la salud del suelo son biológicos, físicos y químicos. Por esta razón, es importante entender la dinámica y el balance de los nutrientes, las condiciones físicas y químicas del suelo, su función biológica y la genética de la planta. Pero también es menester conocer la organización de la finca, en tanto entorno socioeconómico donde tiene lugar la salud del suelo.

De igual manera, la salud del suelo considera los ciclos biogeoquímicos, que son los circuitos de intercambio de elementos químicos entre los seres vivos y el ambiente, a través de procesos de descomposición, transporte y producción.

Cuadro 7.2. Principales ciclos biogeoquímicos.

Enfoque	Ciclos biogeoquímicos
Punto de vista del planeta	<ul style="list-style-type: none"> • Oxígeno • Carbono • Nitrógeno • Agua
Punto de vista de la nutrición de las plantas	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrógeno • Fósforo • Potasio • Carbono • Agua

Microbiología del suelo: el uso de biofertilizadores

Los biofertilizadores son microorganismos que se utilizan para nutrir a las plantas de manera natural. Los principales tipos de biofertilizadores son los fijadores de nitrógeno y los biosolubilizadores de fosfatos.

Dentro de los primeros, existen microorganismos que fijan el nitrógeno de forma simbiótica (a través de la cohabitación con la planta) y otros de forma no simbiótica o de vida libre, que se utilizan en el caso de la papa. En ambos casos, los microorganismos convierten el nitrógeno que obtienen de la atmósfera en una materia asimilable para la planta, denominada nitrogenasa.

Los principales beneficios del uso de estos fijadores biológicos de nitrógeno son:

- Aportan directamente nitrógeno atmosférico al cultivo.
- Tienen alta capacidad de incrementar la concentración de Fitohormonas AIA.
- Aumentan la disponibilidad de fosfatos.
- Permiten reducir las tasas de aplicación de nitrógeno.
- Favorecen la asimilación de nutrientes en suelo.

El *Penicillium bilaii* y el *Bacillus pumilus* son los principales agentes utilizados como biosolubilizadores de fosfatos. Por medio de la producción de ácidos orgánicos, estos microorganismos captan y procesan los distintos fosfatos que nutren a las plantas.

Las principales ventajas de la utilización de los solubilizadores biológicos de fosfatos son:

- Incrementan la disponibilidad de fosfatos en los nichos ecológicos, a través de la producción de ácidos orgánicos.
- Degradan los enlaces minerales.
- Tienen una alta capacidad para incrementar la concentración de Fitohormonas AIA.
- Disminuyen las necesidades de fertilización fosfórica.
- Compiten contra los patógenos.

Materia orgánica y manejo de la salud del suelo

La descomposición de la materia orgánica del suelo (MOS) consta de cuatro estadios: MO fresca, MO parcialmente descompuesta, humus joven y humus viejo. El tránsito del primero al último de ellos dura alrededor de 21 años.

La velocidad de este proceso biológico natural está determinada por la composición y cantidad de organismos del suelo, el entorno físico (oxígeno, humedad, pH y temperatura) y la calidad de la materia orgánica (carbono y nitrógeno). La MOS desempeña tres funciones: física, química y biológica.

Cuadro 7.3. Funciones de la materia orgánica del suelo.

Función	Descripción
Física	Versa sobre el proceso mediante el cual el humus (coloide orgánico) actúa como aglutinador de partículas (agente cementante). En este aspecto, promueve la estabilidad de los agregados y la estructuración del suelo, y de esta manera contribuye a la renovación de la porosidad del suelo (mayor retención y circulación de agua y aire).
Químico	La función química esencial de la MOS reside en su Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Esto se refiere a la capacidad de los suelos de retener, en las superficies de arcilla (coloide inorgánico) y humus (coloide orgánico), cationes e intercambiarlos por otros cationes o iones de H ⁺ presentes en la solución del suelo y aquellos liberados por las raíces.
Biológica	Se enfoca en la interacción de los organismos y microorganismos con la MOS. Dichos agentes biológicos se alimentan de la MOS, al tiempo que contribuyen al reciclaje de nutrientes en el suelo. Esos seres vivos contribuyen a la formación de humus (MO más estable), generan la autorrecuperación del suelo (si se agrega MO a este continuamente) y destruyen los elementos contaminantes. De esta manera, el suelo puede actuar como sumidero de CO ₂ .

La MOS está en un proceso de cambio permanente que reporta, para el suelo y el medio ambiente, ganancias (fertilidad de la tierra y generación de abono verde) y pérdidas (contaminación por liberación de CO₂, erosión y mineralización). Por ello, es importante buscar un balance adecuado de la MOS, a través de prácticas para el manejo adecuado de la salud del suelo. Entre ellas se recomiendan las que a continuación se describen.

Rotación de cultivos

La alternación de cultivos en un mismo terreno permite alcanzar un uso óptimo de la capacidad productiva de los suelos sin afectar su fertilidad; reducir la diseminación de plagas, enfermedades y malezas; contribuir a una producción más estable de cultivos, y aumentar el índice de MOS, entre otros beneficios.

Incorporación de residuos de cosecha

La cubierta de suelos con residuos de cosecha genera distintos beneficios físicos, biológicos y químicos: reduce la erosión, mejora la estructura y capacidad de filtración, disminuye el encostramiento, aumenta la presencia de organismos en el suelo y aporta nutrientes, entre otros.

Siembra directa

Sembrar cultivos sin alterar o laborear el suelo mantiene el equilibrio ecológico del suelo al incrementar la infiltración de agua; aumenta la MOS y los nutrientes; mejora la actividad microbiana y la estructura del suelo; y reduce la erosión. Sin embargo, su ventaja más significativa es la preservación del carbono en los suelos, con lo que se reducen las emisiones de CO₂.

La siembra directa es adecuada para pequeños, medianos y grandes productores, que utilizan métodos de siembra manuales, tracción animal o tracción mecanizada. Este método posibilita controlar la erosión de la tierra, al contener los procesos de arrastre de suelo y promover la infiltración de agua.

Abono orgánico

Consiste en aplicar cualquier sustancia de origen vegetal o animal, en diferentes estados de descomposición, a los suelos para mejorar sus propiedades (físicas, químicas y biológicas) y la productividad de los cultivos. El elemento más utilizado como abono orgánico en la región andina es el estiércol vacuno, ovino, avícola (gallinaza) y de los auquénidos. En algunas zonas se promueve la elaboración de composta a partir de paja y estiércol animal. Existen dos tipos de abonado orgánico según la intensidad de su uso (Cuadro 7.4).

Cuadro 7.4. Tipos de abonado orgánico según la intensidad de su uso.

Tipo	Descripción
Fertilización orgánica	Es la aplicación localizada de material orgánico en volúmenes bajos pero suficientes para aportar nutrientes al suelo, los que mejoran el crecimiento y la productividad de los cultivos.
Enmienda orgánica	Es la aplicación o incorporación de volúmenes altos de material orgánico a los suelos para mantener o mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Las principales limitaciones para el uso del abono animal son la baja disponibilidad de ganado, la falta de tiempo y mano de obra para el manejo del abono, el abonado orgánico requiere más mano de obra que la fertilización química, se requiere maquinaria especial cuando se aplica en grandes extensiones, y la falta de tiempo y recursos económicos para la elaboración de composta.

Fertilización química

Los productos inorgánicos aportan nutrientes en mayor concentración, son altamente solubles y rápidamente aprovechables por las plantas, e indirectamente favorecen el equilibrio húmico (al generar más residuos orgánicos). Sin embargo, si son mal utilizados pueden generar desequilibrios en el suelo (infertilidad, acidificación, contaminación de aguas, entre otros).

En general se recomienda el uso combinado de fertilizantes inorgánicos y abonos orgánicos para lograr un adecuado equilibrio suelo/cultivo.

Abono verde

Consiste en la incorporación de plantas en estado verde, especialmente aquellas cultivadas para elevar la calidad del suelo. Las plantas vivas protegen al suelo de la erosión, e incorporadas mejoran el contenido de nutrientes y la MOS. Se producen en el propio terreno, son baratas y accesibles. Las plantas que se utilicen como abono verde deben generar alta biomasa en poco tiempo, como es el caso de las leguminosas.

Uso de biofertilizantes en cultivos andinos de Bolivia

La Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA) ha desarrollado tres biofertilizantes: Energytop, Tricobal-L y Bacterial Mix. El primero de ellos suministra fósforo y fija el nitrógeno en las plantas. Este consorcio microbiano se ha probado en cultivos andinos, como la papa y la quinoa, al igual que en cultivos de llano, como las leguminosas, con rendimientos de hasta 15% a la cosecha.

Cuadro 7.5. Propiedades de los biofertilizantes Energytop, Tricobal-L y Bacterial Mix.

Biofertilizante	Propiedades
Física	<p>Suministra fósforo y fija el nitrógeno en las plantas. Este consorcio microbiano se ha probado en cultivos andinos como la papa y la quinoa, al igual que en cultivos de llano, como las leguminosas, con rendimientos de hasta 15% a la cosecha.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incrementa el rendimiento y la calidad del producto cosechado. • Solubiliza el fósforo fijado en el suelo y el que está incorporado en los fertilizantes. • Fija el nitrógeno atmosférico de forma biológica. • Promueve un mayor desarrollo radicular y una mayor capacidad de absorción de agua y de nutrientes. • Tiene alta capacidad para aumentar la producción de fitohormonas. • Mejora la eficiencia de los fertilizantes químicos. • Es amigable con el medio ambiente. • Puede usarse en la agricultura orgánica y convencional.
Tricobal-L	<p>Es un biofungicida y promotor de crecimiento de las plantas. Su aplicación se complementa con fungicidas químicos y protege al cultivo durante todo el ciclo. Sus principales beneficios son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presenta alta concentración de estructuras infectivas (conidios). • Suprime diversos patógenos del suelo. • Activa la resistencia natural de la planta. • Promueve el cimientado de la planta, genera engrosamiento de tallos y estimula el crecimiento de raíces. • Incrementa el rendimiento y la calidad del producto cosechado. • Contribuye a la descomposición de la materia orgánica del suelo, lo que mejora la nutrición de las plantas.
Bacterial Mix	<p>Es un bioestimulante y biocontrolador foliar. Sus principales ventajas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimula la síntesis de fitohormonas. • Restaura el equilibrio biótico. • Descompone la materia orgánica para crear nutrición extra para las plantas. • Procesa los nutrientes de manera más efectiva, en favor de las plantas. • Reemplaza las bacterias perdidas por desecación, inundación o congelamiento. • Compite contra patógenos radiculares y foliares. • Incrementa la productividad del suelo agrícola.

Huacho Rozado: Sistema de Labranza Reducida en Papa

En quichua, *huacho* significa “surco” y literalmente huacho rozado significa “surco cortado.” El Huacho Rozado es un sistema precolombino de labranza reducida y cobertura en papa, que se utiliza principalmente en la región norte de Ecuador. También se emplea en el cultivo de otros tubérculos, como el melloco y la oca. El método se utiliza en parcelas en declive, y consiste en hacer los surcos a mano y a favor de la pendiente.

Sobre este método se desarrolló un proyecto de investigación en la provincia ecuatoriana de Carchi. El objetivo principal del proyecto fue generar información socioeconómica y agronómica para ampliar el conocimiento de este sistema ancestral y sobre su posible contribución en la conservación del suelo y la productividad del cultivo de papa.

El proyecto incluyó tres actividades de estudio. La primera fue una evaluación socioeconómica del Huacho Rozado frente a dos sistemas de labranza (manual y de tractor) en el cultivo de papa. Los resultados de este análisis indicaron que el Huacho Rozado aporta materia orgánica al suelo y evita su rápido deterioro; ocupa más jornales, lo que implica generación de empleo, pero aumenta el costo de producción. Produce tubérculos competitivos en calidad y a un mejor precio.

La segunda actividad fue la evaluación de los sistemas de labranza, fertilización y control de lancha (*Phytophthora infestans*) sobre el rendimiento de la papa. Las conclusiones de este trabajo fueron que con el Huacho

Figura 7.1. Picado de camino para hacer Huacho Rozado



Rozado hay mayores rendimientos de producción y menor pérdida de suelo (por lo que es más rentable que la labranza convencional), así como menor severidad en la infección de lancha.

En tercer lugar, se examinó la dinámica del gusano blanco (*Premnotrypes vorax*) en el cultivo de papa bajo los sistemas de labranza de Huacho Rozado y de labranza completa con tractor. El estudio concluyó que la incidencia de gusano blanco fue baja en ambos sistemas de labranza y que el tipo de esta no influyó en el daño causado por la plaga.

Dentro del proyecto, también se desarrollaron actividades de capacitación y difusión para el uso de Huacho Rozado.

Comentario general

En materia de gestión sostenible del suelo y de la tierra, el enfoque de manejo de la salud del suelo recobra relevancia. El propósito es mejorar los medios de vida de las personas y preservar el capital humano, financiero y físico, así como de las dimensiones ambientales, sociales y económicas. Este modelo no solo considera a la ciencia, sino que también rescata el saber hacer de las comunidades, promoviendo la participación colectiva. El enfoque ve en el cambio climático una amenaza directa a la salud del suelo.

Un buen manejo de la materia orgánica del suelo (MOS) es fundamental para este; por ello, es importante buscar un balance adecuado de la MOS a través de prácticas como la rotación de cultivos, la incorporación de residuos de cosecha, la siembra directa, el abono orgánico, la fertilización química y el abono verde.

En el contexto de la agricultura sostenible, la biofertilización cada día cobra mayor importancia como una excelente alternativa para actuar directamente o complementar a la fertilización química tradicional. Los biofertilizadores son microorganismos que se utilizan para nutrir las plantas de manera natural; sus principales tipos son los fijadores de nitrógeno y los biosolubilizadores de fosfatos.

SEMINARIO 8

TECNOLOGÍAS PARA LA TOMA DE DECISIONES⁴⁰

PONENTES



Heydi Gamarra

Investigadora asociada en el Centro Internacional de la Papa (CIP), Perú.



Nancy Panchi

Investigadora asociada del Centro Internacional de la Papa (CIP), Ecuador.



Bruno Condori

Consultor del IICA en Bolivia.

⁴⁰ Fecha de la exposición: 1 de junio de 2021. Forma parte del módulo 2: Prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligentes para la producción de papa. Elaborado a partir de la presentación de los ponentes.

SEMINARIO 8

TECNOLOGÍAS PARA LA TOMA DE DECISIONES

Uso de ILCYM en un sistema de alerta temprana

El ILCYM es un programa de innovación tecnológica que guía al usuario en forma interactiva —a través de una serie de pasos requeridos— para desarrollar modelos fenológicos (o ciclos de vida de insectos basados en la temperatura), realizar simulaciones y producir la distribución potencial de la población y el mapeo de riesgos bajo escenarios de cambios de temperatura (cambio climático) actuales y futuros.

El ILCYM es un programa de innovación tecnológica que guía al usuario en forma interactiva —a través de una serie de pasos requeridos— para desarrollar modelos fenológicos (o ciclos de vida de insectos basados en la temperatura), realizar simulaciones y producir la

distribución potencial de la población y el mapeo de riesgos bajo escenarios de cambios de temperatura (cambio climático) actuales y futuros.

Las principales razones para utilizar este software en el pronóstico de plagas son:

- Sirve para la simulación de la dinámica de poblaciones de insectos.
- Posibilita la evaluación de riesgo de plagas, mediante su detección.
- Permite un manejo integrado de plagas, a través del control biológico clásico (identificación de lugares estratégicos para liberar enemigos naturales) y de la simulación de la frecuencia de aplicación de atraccidas y biopesticidas.
- Ayuda a la planificación de la adaptación ante eventos de cambio climático.

La versión más reciente de ILCYM (4.0) es ahora más rápida, intuitiva en el proceso de modelado e interactiva en todos sus módulos, para el desarrollo de fenologías y predicciones. La información detallada sobre ILCYM (4.0) se encuentra en este [vínculo](#).

En cuanto a su operación, ILCYM brinda la fenología sobre la plaga de que se trate. A partir de esta información, se realizan simulaciones con el uso de los programas R y Shiny (para generar los parámetros de vida de la especie correspondiente) y mapas y curvas de riesgos de diferente alcance (local, regional, mundial, etc.).

Figura 8.1. Operación del ILCYM



A través de distintos proyectos, se ha extendido el uso, capacitación y promoción de este programa en Bolivia, Ecuador y Perú. Particularmente, su aplicación se validó en zonas altamente vulnerables a la seguridad alimentaria y nutricional, así como a los efectos del cambio climático, y donde la papa y su biodiversidad son el componente principal de los sistemas agroalimentarios y de cultura alimentaria.

Estos trabajos se han enfocado en la papa y han demostrado que ILCYM permite determinar los riesgos de establecimiento y propagación de plagas para ubicaciones específicas, con la posibilidad de generar distintos escenarios futuros a partir de variantes en los parámetros de la temperatura. En estos ejercicios también se comprobó que el programa posibilita estimar la agresividad de diferentes tipos de plagas a través del tiempo.

Los proyectos ayudaron a fortalecer las capacidades en el manejo integrado de plagas y en los sistemas de alerta temprana. Asimismo, se crearon comunidades de práctica en los tres países, conformadas por instituciones públicas y privadas, con el propósito de lograr una agricultura más resiliente, promover la coordinación y colaboración entre los participantes, y generar sinergias que potencien los resultados alcanzados.

Las conclusiones y recomendaciones derivadas de estas experiencias de aplicación de ILCYM son las siguientes:

- Las predicciones reflejan adecuadamente el potencial de crecimiento de cada especie estudiada, todas dependientes de la temperatura. Además, es posible determinar el efecto del cambio climático en caso de un incremento hipotético de 2°C.
- La relación entre las capturas y la tasa de reproducción (Ro) muestra pendientes positivas para las plagas, lo que comprueba que si se incrementa el conteo de la plaga también aumenta el Ro.
- Las predicciones tempranas permiten desarrollar estrategias adecuadas para el control de plagas, con lo que se reducen las pérdidas en la producción de papa.
- Las predicciones ante escenarios futuros permiten concientizar a la población y ayudan a la adaptación ante el inminente proceso de cambio climático.
- En el marco del cambio climático, y según los testimonios de los participantes, ILCYM se convierte en una alternativa para los sistemas de alerta temprana que operan en cada país.
- La información sobre la predicción del riesgo de diseminación de plagas puede contribuir a mejorar la toma de decisiones acerca de las medidas que deben incluir los planes y estrategias de asistencia técnica. Así se previenen pérdidas posteriores y se mejoran las condiciones de seguridad alimentaria de las familias a corto, mediano y largo plazo.
- Los logros alcanzados y las perspectivas de los actores involucrados sientan las bases para

consolidar y expandir los resultados. Y, sobre todo, para escalar el uso de ILCYM como innovación tecnológica, orientada a elevar la resiliencia de los sistemas agroalimentarios andinos y a fortalecer los servicios de transferencia de tecnologías y de alerta temprana de introducción y diseminación de plagas. Con ello se asegura la sostenibilidad en el uso de la agrobiodiversidad y en la producción de alimentos.

Sistema de apoyo a la decisión (SAD) para el control de lancha

Como se explicó en el seminario 5 (Manejo integrado de plagas), el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) causa importantes daños económicos y de salud a los productores de papa, además de afectar negativamente al medio ambiente. Con el apoyo de distintos grupos e instituciones, el Centro Internacional de la Papa (CIP) ha desarrollado un sistema de apoyo a la decisión (SAD), dirigido a los agricultores de los Andes, para combatir dicha enfermedad.

La propagación de la lancha, como se le conoce popularmente a esta plaga, depende del concurso de tres factores: la resistencia o susceptibilidad de las variedades de papa al tizón tardío, las condiciones climáticas y el volumen de patógeno existente en los cultivos. El SAD consiste en un instrumento de sencilla operación manual, que integra cuatro discos intercambiables con indicadores relativos a las variables señaladas.

La herramienta permite a los agricultores saber cuándo, cuánto y qué tipo de fungicida aplicar, a partir de la variedad de papa que hayan sembrado y de los cambios de clima que se registren en las diferentes fases del ciclo del cultivo. Las instrucciones para utilizar este juego de ruedas se indican en los siguientes recuadros:

Instrucciones para usuarios del Juego de Ruedas

Paso 1:

Fíjate que la rueda más grande tiene un color rojo, amarillo o verde, como los colores del semáforo.

- **Utiliza la rueda roja** si sembraste la papa **Capiro, Gabriela o Cecilia**. Esta rueda es roja porque estas papas corren mayor peligro de ser afectadas por la lancha; entonces, es importante **utilizar** esta rueda **cada 8 días** para asegurarte de que tus papitas no enfermen.
- **Usa la rueda amarilla** si sembraste la papa **Estela, Natividad o Superchola**. Estas papas corren un poco menos de peligro, por lo que puedes **usar** la rueda **cada 15 días**.
- **Escoge la rueda verde** si sembraste la papa **Victoria, Fripapa o Libertad**. Estas son las papas que menos riesgo tienen ante la lancha; por eso, es suficiente si **usas** la rueda **cada 15 días**.

¿Cuáles son las papas que **corren mayor peligro** de sufrir la lancha y **cuáles menos**?



Si sabes qué papa sembraste, ya sabes qué color de rueda usar. No la cambies hasta la cosecha.

Paso 2

Ahora observa que en la rueda grande hay una marca, úsala para alinear las flechas de las ruedas más pequeñas.

Paso 3

Fíjate si en el medidor de lluvia se acumuló poca o mucha agua, o recuerda cuánta lluvia o neblina has tenido en tu sembrío durante los últimos días. Entonces, gira la rueda celeste hasta llegar al número que corresponde y alinea esta flecha con la marca.

Paso 4

Recuerda cuándo fue la última vez que aplicaste un fungicida en tu sembrío. Si fue hace menos de 11 días, entre 12 y 15 días o hace más de 16 días, gira la rueda naranja hasta llegar al número que corresponde a lo que recordaste y alinea esta flecha con la marca.

Paso 5

Este es el gran paso final. Suma los dos números que elegiste en las ruedas celeste y naranja, gira la rueda morada hasta llegar al número que corresponde a tu suma y alinea esta flecha con la marca. Realiza lo que dice la suma.

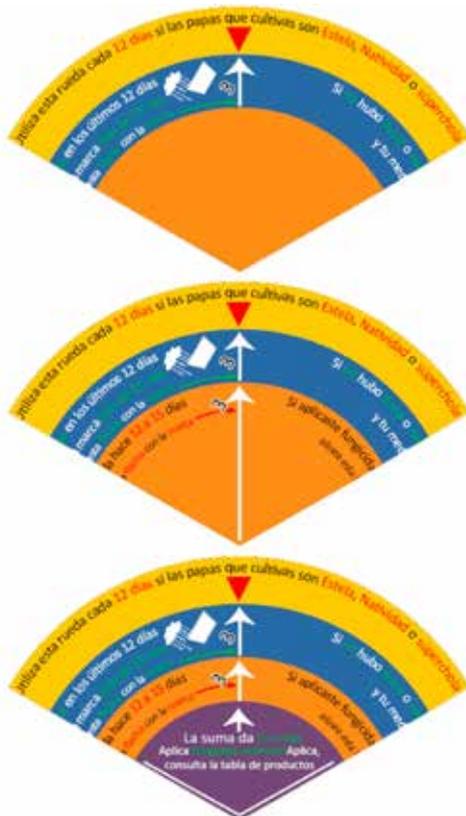
Una evaluación del uso del SAD en Ecuador encontró que los cultivos de los usuarios de esta herramienta fueron afectados más severamente por el tizón tardío, aunque ello no afectó sus rendimientos de producción. Esos usuarios requirieron menos cantidad de fungicidas, con lo que redujeron costos y tuvieron tasas más bajas de impacto ambiental.

El CIP y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Ecuador hicieron versiones electrónicas del SAD (se denominan **Juego de Ruedas** en Perú e **INIAP papaSAD** en Ecuador). Estas aplicaciones también son de fácil uso y se descargan en teléfonos celulares. Se crearon para atraer a los agricultores jóvenes.

Conclusiones:

- El SAD es una herramienta eficiente que permite reducir el número de aplicaciones de fungicidas, el impacto ambiental y los costos de producción. Con su uso se obtienen rendimientos similares en comparación con un manejo convencional de los cultivos.
- El SAD se convierte en un aliado para los productores a la hora de decidir cuándo, qué y en qué dosis de fungicidas aplicar.

Figura 8.2. Ejemplo de cómo usar el Juego de Ruedas.



Si don Manuel siembra papa Superchola, usará la rueda amarilla. Y si en los últimos días llovió mucho, elegirá el número 3 del círculo celeste.

Si la última aplicación de fungicida la hizo hace 14 días, entonces elegirá el número 3 del círculo naranja.

Al final, don Manuel va a sumar los dos números de las ruedas celeste y naranja; es decir, $3 + 3 = 6$. En el círculo morado verá que con una suma de 6 se recomienda aplicar un fungicida sistémico.

Uso de nanocomputadoras para medir variables climáticas

En municipios del valle los Cintis en la región boliviana de Chuquisaca, diversas instituciones han emprendido un proyecto de uso de nanocomputadoras Raspberry Pi con fines agrícolas. Con el tamaño de una tarjeta de crédito y un costo unitario de 25 dólares (en 2017), estos aparatos son conectables a diferentes fuentes, dispositivos y accesorios (internet, wifi, bluetooth, pantallas, audio, teclado, mouse, memorias USB, etc.).

A través de este proyecto de desarrollo agrotecnológico, se ha incorporado a las Raspberry Pi el prototipo denominado IRD, integrado por microsensores que monitorean diferentes condiciones climáticas y ambientales de los cultivos, tales como temperatura,

humedad, presión barométrica, diversos tipos de gases, luz (visible, infrarroja y ultravioleta), etc. Este aditamento tiene capacidad para medir hasta quince variables por segundo.

En cuanto al funcionamiento de este sistema, la nanocomputadora envía por internet toda la información captada por el prototipo IRD a un servidor virtual (nube), que a su vez la retransmite a los dispositivos con que cuenten los usuarios (smartphones, tabletas o computadoras) para su consulta y toma de decisiones en tiempo real.

Esta tecnología se ha utilizado con éxito en la elaboración de modelos predictivos de plagas, que sirven para el manejo adecuado de cultivos. Actualmente se continúa su desarrollo, así como la promoción de su uso en la región andina.

Comentario general

En los últimos años, se han desarrollado innovaciones tecnológicas sustentables que mejoran la productividad y la competitividad de los productos agropecuarios. Entre ellas se encuentra el uso del ILCYM, un software que permite 1) determinar aquellas zonas de alto riesgo en cuanto a propagación de una plaga, y 2) generar un sistema de alerta mediante los indicadores de riesgo diarios que genera este programa.

Otra herramienta eficiente para enfrentar la lancha en papa es el Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD), que permite reducir el número de aplicaciones de fungicidas, el impacto ambiental y el riesgo de problemas de salud. Y también bajar los costos de producción y obtener rendimientos similares a los de un manejo convencional. Además, el SAD se convierte en un aliado para los productores en la decisión de cuándo, qué y en qué dosis aplicar.





SEMINARIO 9

PRIORIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS DE AGRICULTURA SOSTENIBLE ADAPTADAS AL CLIMA⁴¹

PONENTE



Jesús David Martínez

Coordinador del proyecto Territorios Sostenibles Adaptados al Clima en América Latina para el Programa de investigación del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS).

⁴¹ Fecha de la exposición: 8 de junio de 2021. Forma parte del módulo 3, el cual lleva el mismo nombre que el seminario. Elaborado a partir de la presentación del ponente.

SEMINARIO 9

PRIORIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS DE AGRICULTURA SOSTENIBLE ADAPTADAS AL CLIMA

Agricultura climáticamente inteligente (Agricultura Sostenible Adaptada al Clima - ASAC)

El contexto agrícola presente y futuro está determinado por una creciente demanda de alimentos cuya producción es afectada negativamente por el cambio climático.

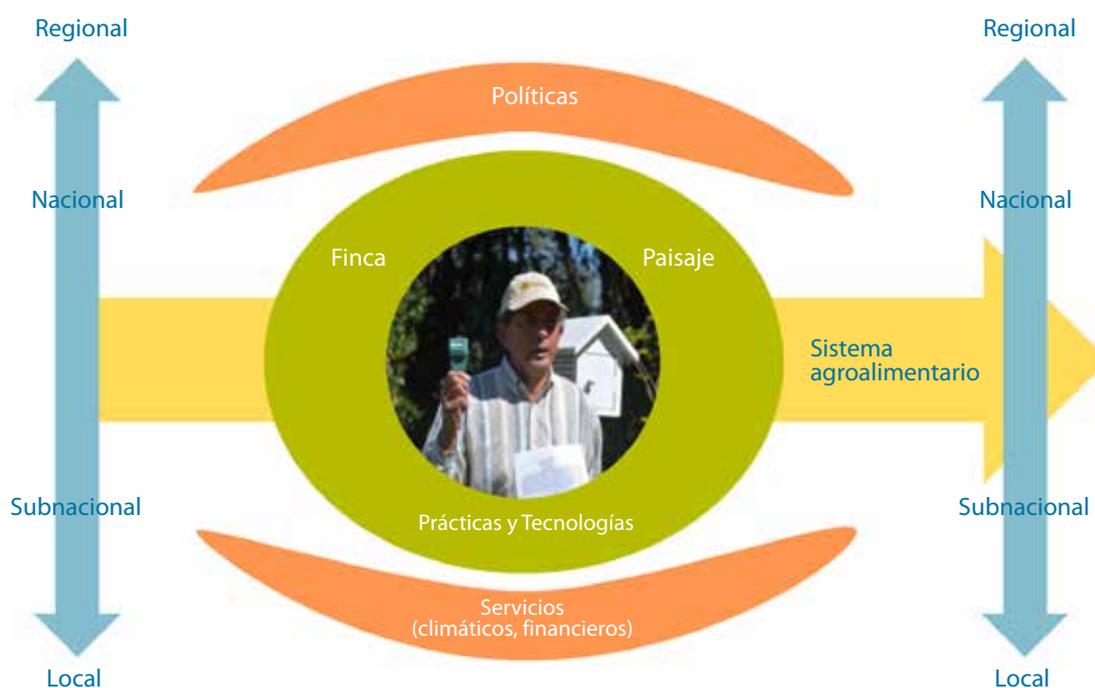
La Organización para la Agricultura y la Alimentación de la ONU (FAO) estima que la alimentación de la población mundial requerirá un aumento del 60% de la producción agrícola total. Con muchos de los recursos necesarios para la seguridad alimentaria sostenible ya en tensión, los problemas de seguridad alimentaria son enormes. Al mismo tiempo, el cambio climático ya está afectando negativamente la producción agrícola mundial y local.

La Agricultura Sostenible Adaptada al Clima (ASAC) es una metodología integradora para enfrentar los desafíos interrelacionados de la seguridad alimentaria y el cambio climático. Esta metodología tiene tres objetivos específicos:

- Incrementar de manera sostenible la productividad agrícola para aumentar equitativamente los ingresos agrícolas, la seguridad alimentaria y el desarrollo.
- Adaptar y fortalecer la resiliencia de los sistemas de seguridad alimentaria al cambio climático, en múltiples niveles.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector agropecuario (cultivos, ganadería y pesca).

La ASAC es un enfoque sistémico e integrado (Figura 9.1) que busca que la adaptación en las prácticas y tecnologías agrícolas vaya desde lo local hasta lo regional, que se pueda apreciar en las fincas y paisajes, y que incida en las políticas públicas y los servicios financieros y no financieros de soporte.

Figura 9.1. Enfoque sistémico e integrado.



Con respecto a la agricultura tradicional, lo novedoso de la ASAC radica en que esta perspectiva asume expresamente que los riesgos climáticos están ocurriendo más rápidamente y con mayor intensidad que en el pasado. La ASAC postula que los nuevos riesgos climáticos requieren cambios en las tecnologías y métodos agrícolas para mejorar las vidas de los que padecen la inseguridad alimentaria y la pobreza, y para evitar la pérdida de los logros ya alcanzados.

Los diferentes elementos que se pueden integrar en los métodos de ASAC incluyen:

- Gestión de fincas, cultivos, ganado, acuicultura y pesca para manejar mejor los recursos. Producir más con menos, mientras se mejora la resiliencia.
- Gestión de los ecosistemas y paisajes, son la clave para incrementar el uso eficiente de los recursos naturales y la resiliencia.
- Provisión de servicios para los agricultores y los administradores de tierras para que puedan implementar los cambios necesarios.

Las acciones que se necesitan para implementar la ASAC son:

- Ampliar los instrumentos de prueba y evaluación orientados a identificar estrategias de crecimiento

agrícola que busquen la seguridad alimentaria e integren adaptación y potencial de mitigación.

- Construir marcos de política pública y consensos para apoyar la escalabilidad en la aplicación de la ASAC.
- Fortalecer instituciones nacionales y locales que permitan a los agricultores gestionar los riesgos climáticos y adoptar prácticas agrícolas ajustadas a su contexto, tecnologías y sistemas.
- Mejorar las opciones de financiamiento de apoyo a la implementación de prácticas de ASAC para vincular la obtención de recursos al impacto potencial de cada proyecto sobre el cambio climático.

Marco de priorización ASAC

El marco de priorización es una forma de aplicación de la ASAC (de manera abreviada se identifica como MP-ASAC). Este enfoque busca determinar las prácticas específicas que cada agricultor pueda llevar a cabo, de acuerdo a sus condiciones de producción y de su entorno. El MP-ASAC consiste en identificar y evaluar las principales opciones ASAC para determinar un portafolio de las prácticas ASAC prioritarias a instrumentar según las circunstancias del caso.

Figura 9.1. Marco de priorización en ASAC.



Los criterios medulares de priorización de las prácticas ASAC se basan en una valoración integral de los indicadores ASAC (que miden adaptación, mitigación ambiental y seguridad alimentaria), su costo-beneficio, y las barreras y oportunidades que ellas entrañan. Los alcances de aplicación del MP-ASAC pueden ser desde locales hasta nacionales; y consecuentemente, sus usuarios pueden ir desde campesinos y productores indígenas hasta gobiernos nacionales.

Las fases de evaluación preliminar (1) y de identificación de las principales opciones de ASAC (2) del MP-ASAC toman en cuenta factores como los sistemas productivos (agroforestales, agrícolas, pecuarios, frutales, etc.), las regiones clave (donde se aplicará la metodología), los riesgos e impactos climáticos y los eslabones de las cadenas de valor (provisión de insumos y servicios; producción en finca; cosecha, almacenamiento y procesamiento, y transporte y comercialización).

Estas fases incluyen la realización de análisis multidimensionales de cada opción ASAC planteada, a partir de aspectos socioculturales, ambientales, económicos, político-institucionales y educativos-informativos. Por ejemplo, ¿la práctica X facilita el acceso y disponibilidad a alimentos nutritivos (sociocultural), hace frente a los riesgos e impactos del cambio climático (ambiental), es de interés para financiamiento público/privado (económico), promueve la gobernanza local y está alineada con prácticas y/o proyectos actuales (político-institucional), y se encadena con procesos de educación e investigación (educación-información)?

Los indicadores ASAC también están comprendidos en ambas etapas. A continuación, se presenta un ejemplo (basado en el caso de la Cuenta Alta del Río Cauca de Colombia) de cómo formular y medir dichos parámetros.

Como se puede apreciar, en este ejemplo los indicadores de productividad y adaptación permiten evaluaciones cuantitativas, dado que estos parámetros se basan en datos numéricos. No ocurre así con el indicador de mitigación, cuya valoración es cualitativa. Para casos como este, en los que no se cuente con información cuantificable, se recomienda integrar grupos de expertos que definan los indicadores cualitativos a evaluar y sus correspondientes escalas de medición.

La fase de análisis costo-beneficio (3) del MP-ASAC suele comparar las consecuencias económicas en una serie determinada (en el tiempo) de dos escenarios: uno donde se implementa la práctica ASAC y otro donde no se implementa.

En la fase de desarrollo de portafolios (4) se identifican las barreras y oportunidades de implementación de cada práctica ASAC que haya llegado hasta esta etapa. Este análisis generalmente se basa en la consulta a especialistas acerca de los criterios socioculturales, ambientales, económicos, político-institucionales y educativos-informativos que incidan sobre las prácticas. Se trata de una nueva evaluación multidimensional aplicada ahora a las mejores alternativas surgidas de las valoraciones previas. Las opciones que resulten de este proceso integrarán el portafolio de inversiones en ASAC priorizadas.

Una herramienta de cómputo diseñada en el programa Excel para desarrollar esta fase se encuentra disponible en el sitio <https://csa.guide/csa/targeting-and-prioritization>.

Cuadro 9.1. Criterios: indicadores ASAC.

	Indicador	Métrica
Productividad	Rendimiento	kg / m ² / año
	Empleo	Personas / finca / año
	Ingresos	Pesos \$ / finca / año
Adaptación	Uso eficiente del agua	Litros / kg de producto / año
	Protección de fuentes hídricas	Litros / seg o m ³ / seg (caudal)
	Producción de biopesticidas	kg o litros de biopesticidas / m ² / año
	Producción de biofertilizante	kg o litros de biofertilizante / m ² / año
	Uso eficiente de fertilizantes	kg de fertilizante / kg de producto / año
	Uso eficiente de otros agroquímicos	kg de agroquímicos / kg de producto / año
	Uso de energía no renovable	kw / kg de producto / año
	Biodiversidad agropecuaria	Número de especies o variedades / m ²
	Calidad del suelo	% de materia orgánica
Mitigación	Intensidad de emisiones	Valoración cualitativa

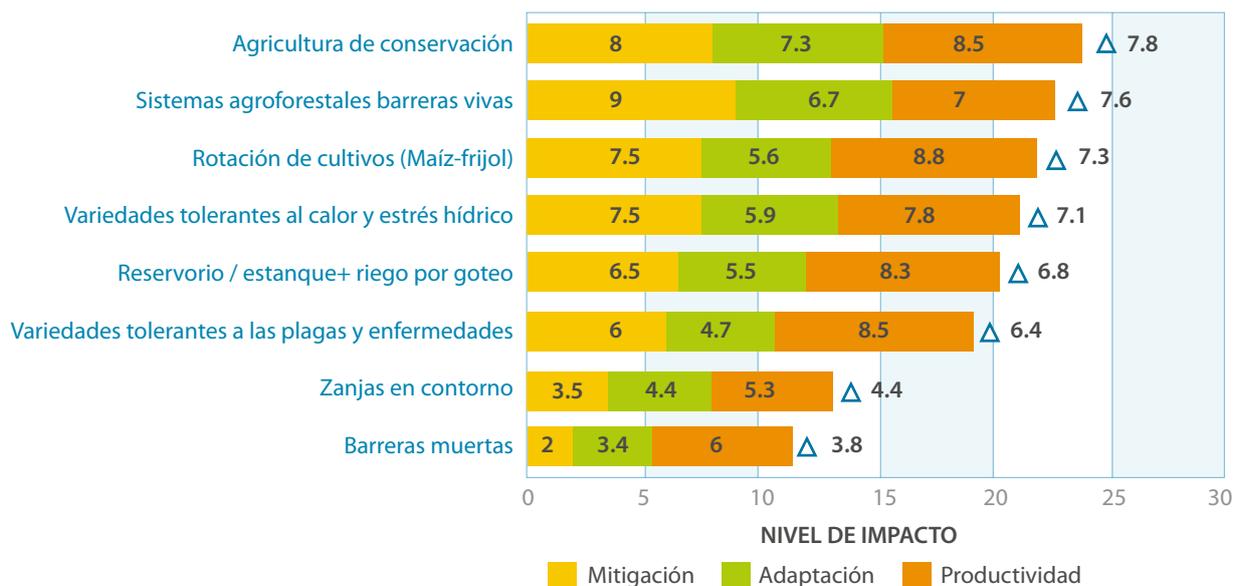
Estudio de caso MP-ASAC: Guatemala - Corredor Seco Centroamericano

El proyecto Guatemala - Corredor Seco Centroamericano es un ejemplo de aplicación del MP-ASAC. Este caso constó de cuatro fases principales:

- Revisión, realización de encuestas a productores y entrevistas con expertos para identificar prácticas ASAC existentes y promisorias. Se evaluó su desempeño en los pilares ASAC (productividad, adaptación y mitigación), utilizando los indicadores correspondientes.
- Primer encuentro de productores con representantes del gobierno, la academia e instituciones de investigación para, conjuntamente, validar el trabajo de la etapa anterior y priorizar las prácticas.
- Análisis costo-beneficio de cada una de las prácticas priorizadas.
- Segundo encuentro de los participantes en la fase 2 para discutir las barreras y oportunidades de adopción de las prácticas ASAC.

En el proyecto se evaluó el impacto de ocho prácticas en mitigación, adaptación y productividad, así como sus costos y beneficios. Los resultados del análisis de los efectos de las prácticas sobre los pilares ASAC se muestran en la siguiente gráfica:

Figura 9.2. Impacto de las prácticas ASAC en mitigación, adaptación y productividad.



Territorios Sostenibles Adaptados al Clima (TeSAC) y Mesas Técnicas Agroclimáticas (MTA)

El programa de investigación del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) promueve la aplicación del enfoque de Territorios Sostenibles/Adaptados al Clima (TeSAC) en América Latina. Este proyecto comprende la evaluación de la efectividad de las prácticas ASAC en diferentes contextos climáticos. Los datos recabados en esta materia se integran en servicios de información climática que son puestos a disposición de los agricultores para elevar la calidad de sus decisiones de producción.

Además del clima, los TeSAC se enfocan en elementos como agua, carbono, nitrógeno, energía y conocimiento. El proceso de diseño y diagnóstico de este modelo consta de cuatro fases orientadas a lograr comunidades rurales sostenibles adaptadas al clima, como se puede apreciar en la siguiente gráfica:

Figura 9.3. Fases en un TeSAC de Investigación para el Desarrollo (I+D).



Posteriormente se priorizan las medidas, a partir de un proceso que comprende el análisis de vulnerabilidad a nivel de finca, la selección de opciones ASAC, la formulación de planes de adaptación por las familias y la implementación de las alternativas escogidas.

El empoderamiento de los agricultores en el conocimiento y el uso de la información climática son fundamentales para el desarrollo de los TeSAC. Por ello, se capacita a los productores en la lectura, monitoreo, interpretación y utilización práctica de los datos agroclimáticos.

Una vez implementadas, las medidas seleccionadas son objeto de seguimiento a través del Marco Integrado de Monitoreo de Agricultura Sostenible Adaptada al Clima. Esta metodología permite comparar los resultados obtenidos por los productores participantes con y sin las prácticas ASAC, y en cuanto a productividad, adaptación y mitigación.

En tanto, las Mesas Técnicas Agroclimáticas (MTA) son espacios de discusión entre actores para la gestión de información agroclimática local, con el fin de identificar las mejores prácticas de adaptación a los fenómenos climáticos, que son transferidas a técnicos y agricultores locales por medio del Boletín Agroclimático Local del lugar que corresponda.

Comentario general

La Agricultura Sostenible Adaptada al Clima (ASAC) es una metodología diseñada para hacer frente a la inseguridad alimentaria y el cambio climático. Se puede integrar a los métodos ASAC la gestión de fincas, cultivos, ganado, acuicultura y pesca; la gestión de ecosistemas y paisajes; y la provisión de servicios para los agricultores y los administradores de tierras.

El marco de priorización es una forma de aplicación de la ASAC que consiste en un proceso participativo en el que se identifican y evalúan las principales opciones ASAC. Esto se hace con el fin de diseñar un portafolio de aquellas prácticas que es pertinente privilegiar para su instrumentación, por los beneficios que representan para los territorios.

Los criterios para priorizar las prácticas ASAC son: a) indicadores específicos que miden la adaptación, mitigación ambiental y seguridad alimentaria; b) su costo-beneficio; y c) las barreras y las oportunidades que ellas implican. Los alcances de aplicación del MP-ASAC abarcan desde lo local hasta lo nacional; por tanto, sus usuarios pueden ser desde campesinos y productores indígenas hasta gobiernos nacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade-Piedra, J.L.; Kromann, P.; Otazu, V. (eds.).** 2015. Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú. Quito (Ecuador). CIP, INIAP, CORPOICA.
- Andrade-Piedra, J.L.; Almekinders, C.J.M.; McEwan, M.A.; Kilwinger, F.B.M.; Mayanja, S.; Mulugo, L.; Delaquis, E.; Garrett, K.A.; Omondi, A.B.; Rajendran, S.; Kumar, P.L.; Thiele, G.** 2020. User guide to the toolbox for working with root, tuber and banana seed systems. Lima (Peru). CGIAR Research Program on Roots, Tubers and Bananas (RTB).
- Bryan, J.E.; Jackson, M.T.; Melendez, N.** 1981. Rapid multiplication techniques for potatoes. International Potato Center. Lima, Perú.
- Caicedo, J.; Crizón M.; Pozo A.; Cevallos A.; Simbaña L.; Rivera L.; Arahana, V.** 2015. First report of 'Candidatus Phytoplasma aurantifolia' (16SrII) associated with potato purple top in San Gabriel, Carchi, Ecuador. New Dis. Reports, 32.
- Caicedo, J.; Simbana, L.; Calderón, D.; Lalangui, K.; Vargas, L.** 2020. First report of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' in Ecuador and in South America. Australasian Plant Disease Notes. 15. 10.1007/s13314-020-0375-0.
- Castillo, C.C.; Paltrinieri, S.; Bustamante, J. B.; Bertaccini, A.** 2018. Detection and molecular characterization of a 16SrI-F phytoplasma in potato showing purple top disease in Ecuador. Australasian Plant Pathology, 47, 311-315.
- Castillo C.; Zhen F.; Burckhardt D.** 2019. First record of the tomato potatopsyllid *Bactericera cockerelli* from South America. B Insectol 72:85–91
- Condori, B.; Hijmans, R. J.; Quiroz, R.; Ledent, J. F.** 2010. Quantifying the Expression of Potato Genetic Diversity in the High Andes through Growth Analysis and Modeling. Field Crops Res. 119, 135–144.
- Condori, B.; Quiroz, R.; Barreda, C.; Gavilan, C.; Guerrero, J.; Osorio, J.** 2017. Solanum: A potato production simulation model. International Potato Center. <https://doi.org/10.21223/P3/E71OS6>
- De Haan, S.; Salas, E.; Fonseca, C.; Gastelo, M.; Amaya, N.; Bastos, C.; Hualla, V.; Bonierbale, M.** 2017. Selección participativa de variedades de papa (SPV) usando el diseño mamá y bebé: una guía para capacitadores con perspectiva de género. Lima (Perú). Centro Internacional de la Papa. 82pp.
- Fanzo, J.C.; Downs, S.; Marshall, Q.E.; de Pee, S.; Bloem, M.W.** 2017. Value Chain Focus on Food and Nutrition Security. In Nutrition and Health in a Developing World 2017, pp. 753-770. Springer International Publishing
- Fanzo, J.** 2019. Intersessional Event on Nutrition on Food Systems Framework & Typologies. In Open Meeting on Food Systems (en línea, videoconferencia). Roma, Italia. FAO. 2hrs 53min 37seg., son., color. Consultado 30 de jun. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/webcast/home/en/item/4925/icode/>
- García, Y.; Ramírez, W.; Sánchez, S.** 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes, 35(2), 125-138. Recuperado en 09 de julio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&tlng=es.
- Gildemacher, P.R.; Schulte-Geldermann, E.; Borus, D.; Demo, P.; Kinyae, P.; Mundia, P.; Struik, P.** 2011. Seed Potato Quality Improvement through Positive Selection by Smallholder Farmers in Kenya. Potato Res. 54, 253.
- Hidalgo, O.** 1999. Producción de tubérculos-semillas de papa: Producción de semilla básica por selección positiva, negativa y clonal. Lima, PE. CIP 5(2).
- Lal, R.** 2013. Food Security in a Changing Climate. Ecohydrol. Hydrobiol. 13, 8–21.
- Milano Group.** 2018. Food systems for sustainable development: proposals for a profound four-part transformation, Agronomy for Sustainable Development. 38, 41 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0519-1>



Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
Organismo del Sistema Interamericano
especializado en desarrollo agropecuario y rural.