

Sistematización de experiencias de intercambio científico y tecnológico en el marco del sistema nacional de innovación agraria

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA 2019



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

EL PERÚ PRIMERO



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO

Ministra de agricultura y riego

Fabiola Muñoz Dodero

Viceministra de políticas agrarias

María Elena Rojas Junes

Viceministro de desarrollo e infraestructura agraria y riego

Jorge Montenegro Chavesta

Jefe del Instituto Nacional de Innovación Agraria

Jorge Luis Maicelo Quintana

Directora ejecutiva del PNIA

Blanca Arce Barboza

Director de operaciones del PNIA

Ramón Carlos Serra Fuertes

Programa Nacional de Innovación Agraria

Esta es una obra colectiva

Editado por PNIA

Av. La Molina 1981

La Molina, Lima - Perú

Tiraje: 2,000

Edición: Octubre 2019

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2019-14440.

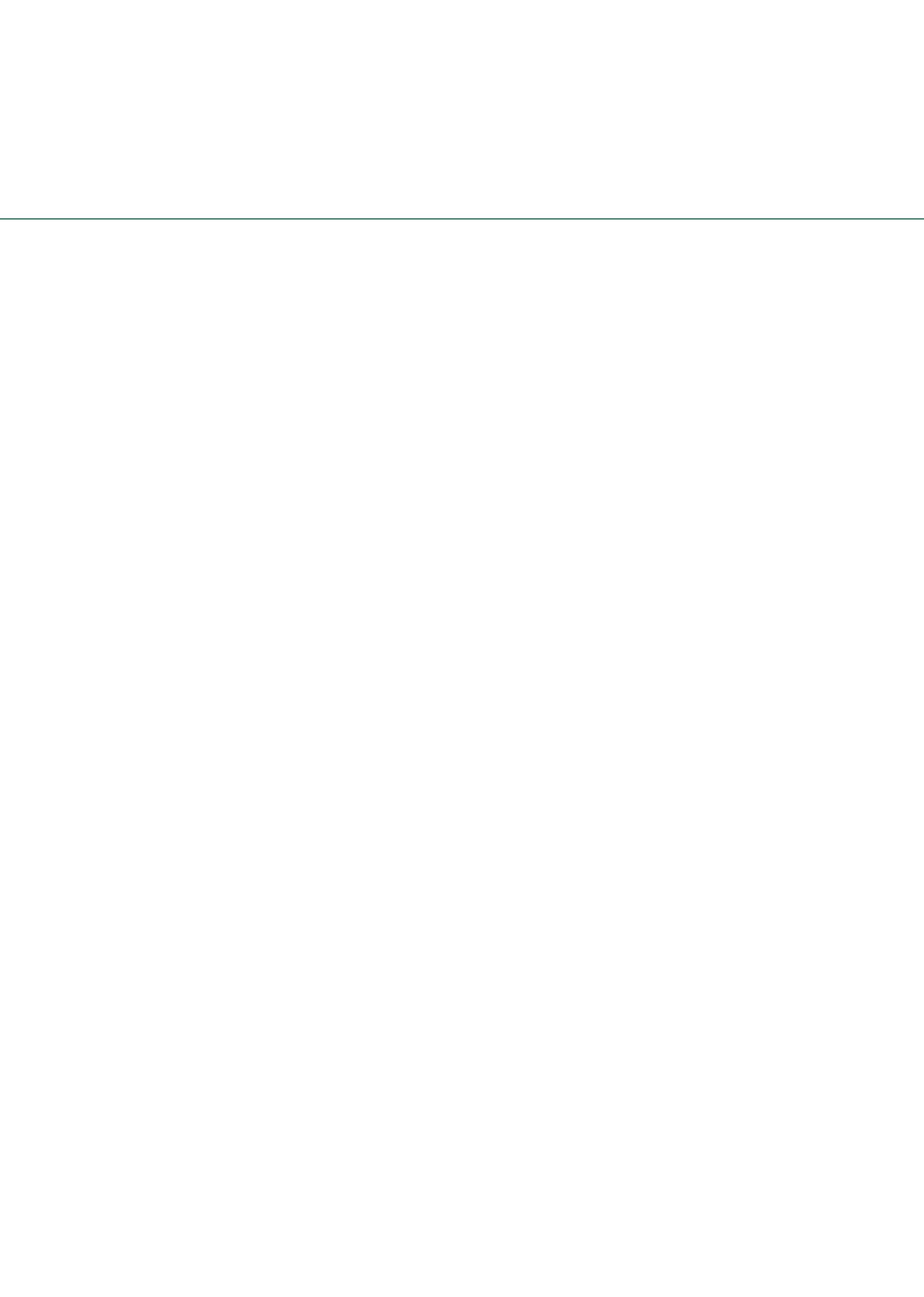
Impreso en ARTES GRAFICAS MELENDES E.I.R.L., URB. COO. DE VIVIENDA
VIRGEN DE LAS NIEVES LTDA. MZ. S LT. 3 SANTA ANITA – LIMA



Contenido

5 Presentación

- 6 I. Efectos del cambio climático en el cultivo de papa
- 12 II. Productividad de la palma aceitera en el ámbito de la Amazonía
- 19 III. Estrategias tecnológicas para reducir el contenido de Cd en las almendras del cultivo de cacao
- 22 IV. Modernización de la caficultura, una herramienta más para afrontar el cambio climático
- 37 V. Estado situacional de las tecnologías y experiencias para el Programa Nacional de Hortalizas y Frutales del Instituto Nacional de Innovación Agraria



Presentación

Desde su creación, el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) —como parte del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), organismo técnico especializado del Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri)— tiene el firme propósito de contribuir a la consolidación de un sistema nacional moderno de ciencia, tecnología e innovación que incremente los niveles de rentabilidad y competitividad del sector agrario peruano generando y adoptando tecnologías sostenibles y ambientalmente seguras.

En el 2018, el PNIA, como parte de su estrategia de gestión del conocimiento, encargó la sistematización de las experiencias de intercambio científico y tecnológico, producto de eventos con actores del Sistema Nacional de Innovación Agraria (SNIA) en los departamentos de Junín, Ucayali y Lima, a cargo de investigadores nacionales e internacionales en las cadenas de papa, palma aceitera, cacao, café y hortalizas.

Esta sistematización de los avances científicos y tecnológicos en un contexto de desarrollo agrícola global y nacional es una contribución a la solución de los retos que estas cadenas y organizaciones de productores enfrentan. Los resultados de este intercambio con actores del SNIA permiten avanzar en la difusión del conocimiento científico y tecnológico generado por los proyectos cofinanciados por el PNIA como por otras entidades del sistema de innovación, así como lo conseguido a manera de referencia en otros países como parte del compartir del conocimiento con aliados estratégicos en el desarrollo de la innovación agraria en el Perú.



Efectos del cambio climático en el cultivo de papa¹

Ing. Rolando Egúsquiza Bayona²

La papa en el Perú es un producto alimenticio de primera importancia social, económica y política. Es un alimento que se encuentra íntimamente vinculado al desarrollo cultural de los pueblos prehispánicos y, desde entonces, forma parte de nuestra identidad nacional. En los últimos años, en el contexto mundial se presentan serias preocupaciones por indicadores que evidencian un cambio climático en curso. Las alteraciones en los parámetros climáticos ponen en riesgo diferentes sectores de las actividades humanas, entre ellos, el sector agrícola y, en consecuencia, también pone en riesgo la seguridad alimentaria. Los impactos del cambio climático en el cultivo de papa no son la excepción.

En consecuencia, las medidas de prevención y adaptación obligan a una mayor comprensión de las relaciones de las plantas con el clima y sus elementos. En el presente documento se describen brevemente las alteraciones morfológicas y fisiológicas como producto de las alteraciones hídricas y térmicas. También se presentan una breve descripción del proyecto PNIA 012-2016 Conservación, Vulnerabilidad y Adaptación Genética de las Papas Nativas de Huánuco en Condiciones de Cambio Climático y sus actividades en la conservación de papas nativas, y las investigaciones sobre la vulnerabilidad y adaptación genética a la sequía y al calor.

¹ Presentación disertada en el Taller de Intercambio Científico sobre Innovación Agraria. SNIA/PNIA. Huancayo, agosto 17, 2018.

² Ing. Agr., Mg. Sc.; docente Universidad Nacional Agraria La Molina.

1. El cambio climático y la planta de la papa

El cambio climático es una amenaza para el clima terrestre, cuyos efectos son, entre otros, la reducción de la superficie de glaciares, una mayor frecuencia e intensidad de incendios forestales, desertificación, sequías prolongadas, calentamiento de los océanos y, en general, cambios en los valores de parámetros climáticos. Instituciones especializadas como el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) han determinado que la temperatura media de la Tierra ha aumentado 1.1 °C en el último siglo y medio y que, si se mantiene esta tendencia en el planeta, la temperatura podría elevarse hasta 4,8 °C para finales de este siglo (IPCC, 2014). En consecuencia, el cambio climático es una amenaza que pone en riesgo la seguridad alimentaria de la población porque afecta la capacidad de los sectores agrícola, pecuario y acuícola para producir alimentos, las actividades industriales conexas y la conservación de los recursos genéticos vegetales y animales.

La aceptación creciente de la existencia del cambio climático permite diseñar medidas de prevención, adaptación y mitigación de su impacto. En el caso del cultivo de papa se hace necesario conocer el impacto que produce el cambio climático con especial énfasis en los cambios extremos del ciclo del agua y de la temperatura.

1.1 Efectos de los extremos hídricos

a. Efectos del déficit de agua.

Debido a su sistema de raíces poco profundas, la papa es considerada el cultivo más sensible a la sequía, que afecta negativamente los procesos fisiológicos involucrados en la formación y el crecimiento del tubérculo. Sin embargo, la pérdida de rendimiento del tubérculo inducido por la sequía depende en gran medida de la duración, la gravedad y, sobre todo, la etapa de crecimiento de la planta.

1. Efectos del déficit de agua en el periodo de siembra-emergencia. En la papa, el periodo de siembra-emergencia ocurre normalmente entre 3 a 4 semanas desde la siembra. La deficiencia de humedad en el suelo por siembra en suelo seco o por ausencia de riego o lluvia prolongada en este periodo de 1 a 4 semanas, dependiendo del grado de déficit, las hace más vulnerables al ataque de orga-

nismos patógenos o parásitos del suelo que las pudren o deterioran y, por lo tanto, causan menor uniformidad del cultivo y espacios vacíos (sin plantas) en sectores del campo o entre las líneas de siembra. Otro efecto es la menor masa radicular que reduce la masa aérea de la planta. También, la deficiencia en la humedad del suelo puede causar la desuniformidad en la emergencia de plantas, lo que produce, en las subsiguientes semanas, plantas de diferentes portes o tamaños. Finalmente, la insuficiente disponibilidad de agua determina que ocurra mayor competencia entre los brotes para su diferenciación en tallos aéreos; en estas condiciones, algunos brotes no continúan su elongación y otros, de menor desarrollo, se reabsorben, lo que da como resultado una reducción del número de tallos principales.

2. Efectos del déficit de agua en el periodo de crecimiento inicial y lineal. En este periodo ocurre la mayor diferenciación de hojas y tallos. El déficit de humedad reduce el ritmo normal de crecimiento de los tallos (un cm/día), por lo que las plantas no alcanzan el porte que corresponde a su genotipo y son de menor tamaño. Si la sequía está acompañada de alta temperatura, los entrenudos son más largos y los tallos presentan mayor peso. Otra consecuencia de la falta de agua en esta etapa es la reducción de la duración de los estados fenológicos: se anticipa la oportunidad de floración y, por lo tanto, se reduce el periodo de vegetación y se inicia la tuberización temprana. Finalmente, al estar las condiciones de sequía asociadas a condiciones de mayor temperatura, que en general acortan los ciclos de reproducción de los insectos, la susceptibilidad de la planta a los mismos se ve aumentada.

3. Efectos del déficit de agua en el periodo de pleno crecimiento. En esta etapa se produce la mayor translocación de carbohidratos hacia los tubérculos. La falta de agua afecta seriamente su rendimiento, pues hace que las plantas cierren sus estomas para reducir su pérdida por transpiración, y el ingreso de CO₂ se ve limitado, lo que da como resultado una menor producción de fotosintatos. Esta restricción en el metabolismo acentúa la competencia de las diferentes estructuras, aéreas y subterráneas, de la planta por el uso de los factores de producción, lo cual deriva en una mayor reabsorción de estolones y tubérculos.

Esto ocasiona una drástica reducción en el número de tubérculos en la cosecha. Del mismo modo, la falta de agua en esta etapa provoca la senescencia anticipada de las hojas y la maduración adelantada de la planta. Al reducirse el número de días de fotosíntesis y translocación, el tamaño promedio de los tubérculos es afectado negativamente.

b. Efectos del exceso de agua.

El exceso de agua en el suelo desplaza los espacios porosos del mismo y reduce la disponibilidad de oxígeno para la adecuada respiración de las estructuras subterráneas (raíces, estolones y tubérculos). Esta falta de oxigenación causa muerte celular en las raíces con la consiguiente pérdida de agua de las porciones aéreas (hojas) que se necrosan y absicionan. De esta manera, el follaje de la planta es menor, lo que afecta la captación de la energía solar.

El exceso de agua en los estados iniciales del cultivo limita la diferenciación de los brotes del tubérculo-semilla en tallos principales, lo que, en casos extremos, causa su reabsorción. Las plantas con menor número de tallos presentarán menor número de tubérculos. La falta de oxígeno para la adecuada respiración de los tubérculos determina una mayor apertura de los poros respiratorios (lenticelas) del peridermo o cáscara del tubérculo que afecta su apariencia comercial. Al agrandarse las lenticelas, estas se convierten en una vía para el ingreso de hongos y bacterias patógenas responsables de las pudriciones que se producen en terrenos con mal drenaje o con exceso de agua.

Por otro lado, los periodos de exceso de agua alternados con periodos de escasez (“golpes de agua”) alteran el balance hormonal regulador de la tuberización. Este desbalance puede causar la reversión de la diferenciación de los tubérculos hacia el crecimiento vegetativo y estolonización que afectan la forma típica de los tubérculos de la variedad y, por ende, su calidad comercial. En variedades de corto periodo vegetativo y con tendencia a producir tubérculos grandes, el crecimiento acelerado de las células de la corteza puede presionar las capas del peridermo o cáscara y ocasionar rajaduras. En tubérculos de mayor tamaño, la división celular y el crecimiento acelerado que ocurre en los estados tempranos pueden causar la muerte de las células de la médula con la consiguiente formación de un espacio vacío que crece a medida que crece el tubérculo.

1.2 Efectos de los extremos de temperatura

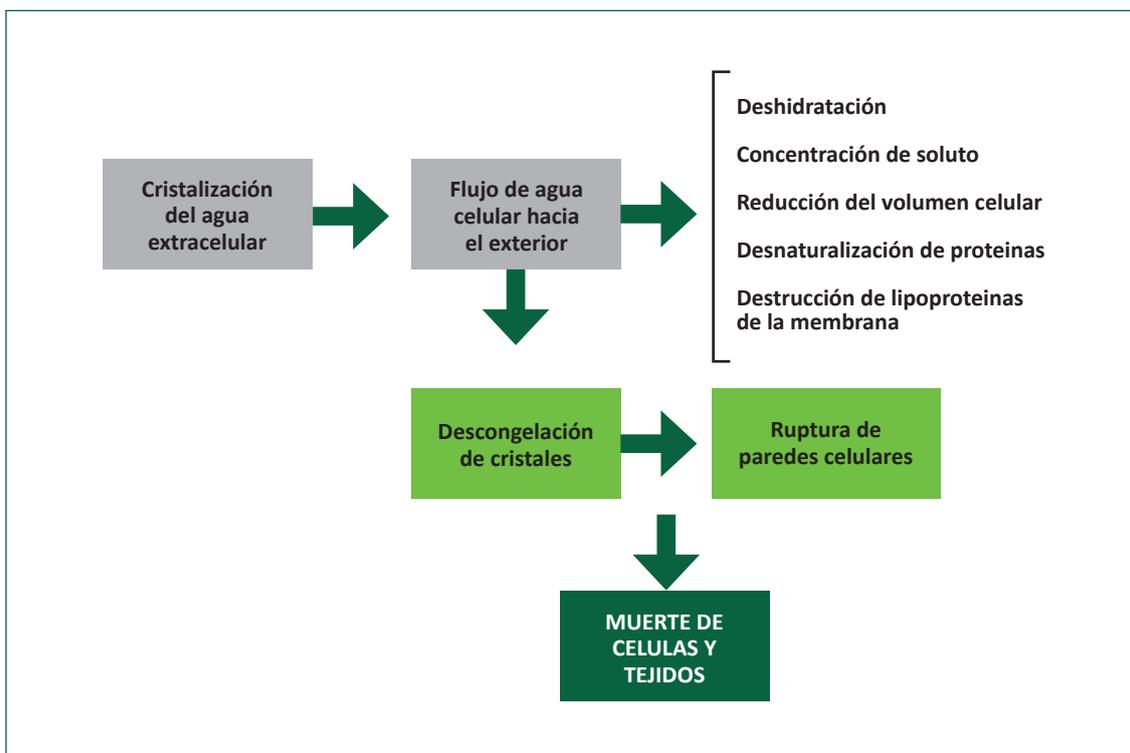
a. Efectos de bajas temperaturas.

Las plantas de papa son tolerantes a temperaturas bajas en comparación con otros cultivos propios de zonas de menor altitud. Dentro de las especies y variedades de papa se encuentran diferentes grados de tolerancia (Li y Fennell, 1985). Sin embargo, se considera que cuando la temperatura es menor a 5 °C ocurre algún grado de daño. Mendoza y Estrada (1979) diferencian los daños por efecto del frío (entre 5 °C y 0 °C) y por efecto de heladas (debajo de 0 °C). Los autores indican que las bajas temperaturas producen “heladas blancas” cuando el descenso de temperatura no es extremo y las condiciones de la atmósfera son de alta humedad relativa. De la misma manera, caracterizan a las “heladas negras” cuando el descenso de temperatura es mayor y producen muerte y necrosis de hojas y tallos.

En general, las temperaturas bajas reducen la actividad fisiológica y metabólica de las plantas (menor fotosíntesis y menor respiración). En estas condiciones, las plantas son de menor porte, y las hojas, de menor área. Asimismo, se prolonga el periodo vegetativo y se reduce el rendimiento final. En variedades de hojas y foliolos anchos, las temperaturas cercanas a 0-2 °C producen una ligera necrosis en la superficie de los foliolos más expuestos y del tercio apical de la planta. Si estas temperaturas se presentan en estados de crecimiento inicial o lineal, la diferenciación de las hojas se ve afectada; estas, al expandirse, presentan un encrespamiento semejante al producido por el virus del mosaico rugoso. Cuando las temperaturas son menores a -1 °C, de acuerdo a la susceptibilidad de los genotipos y a la edad de las plantas, los daños son mayores y pueden comprometer su posibilidad de recuperación.

En el Gráfico 1 se indica que el daño por las heladas se produce en una sucesión de eventos que se inician con la congelación y cristalización del agua contenida en los espacios intercelulares que a su vez genera flujo del agua celular hacia el exterior. En una segunda etapa, la deshidratación celular produce la descomposición de los organelos celulares y de sus constituyentes bioquímicos. La tercera etapa es consecuencia de la descongelación de los cristales de agua que han incrementado su volumen y causan la ruptura de las paredes celulares con la consiguiente muerte celular y de los tejidos afecta-

Gráfico 1: Eventos celulares responsables del daño de heladas



dos. La velocidad de descongelación está asociada a la magnitud del daño; las especies y variedades de papa en las que la velocidad de descongelación es lenta son más tolerantes al daño de las heladas (Revilla et al., 2005).

b. Efectos del calor (alta temperatura).

Las temperaturas promedio mayores a 25 °C son desfavorables para el rendimiento de la papa. En condiciones de calor, la actividad respiratoria de la planta de papa se incrementa, lo que causa el aumento en el consumo de carbohidratos (CHO). Este incremento reduce los excedentes de CHO almacenables en los tubérculos con la consiguiente baja en el rendimiento total de tubérculos.

Las temperaturas >25 °C reducen la expansión de las hojas (foliolo más pequeños) e incrementan el desarrollo de los tallos. De esa manera, con una menor área foliar, la relación de peso tallos/hojas se incrementa. Al aumentar la longitud de entrenudos de los tallos, las plantas son menos compactas y, por lo tanto, más susceptibles al tumbado.

En general, las temperaturas altas están asociadas a una mayor radiación, la cual aumenta la transpiración de la planta de papa y genera una mayor demanda de agua. Si las temperaturas noctur-

nas se ven afectadas, la síntesis de las hormonas responsables del inicio y el mantenimiento de la tuberización es retrasada. También se reduce la eficiencia de translocación de CHO desde las hojas a los tubérculos, lo que limita la diferenciación de estolones y reduce, por lo tanto, el número y tamaño de los tubérculos. Finalmente, el contenido de humedad en los tubérculos producidos en condiciones cálidas es menor, lo que afecta su calidad culinaria y comercial.

2. El cambio climático y las papas nativas

La amenaza del cambio climático requiere que las políticas de los Gobiernos nacionales, regionales y locales adopten medidas de prevención, mitigación y adaptación. De la misma manera, esta necesidad se extiende al sector agrario, en el que sus instituciones deben diseñar medidas a favor de la seguridad alimentaria y la protección de los recursos genéticos. Con estos propósitos y considerando que los recursos genéticos contenidos en las papas nativas pueden ser amenazados por los extremos climáticos contrarios a sus requerimientos ambientales (lluvia y frío), desde el mes de enero del 2017, la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) se encuentra ejecutando el proyecto **Conservación,**

Vulnerabilidad y Adaptación Genética de las Papas Nativas de Huánuco en Condiciones de Cambio Climático con el apoyo financiero del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA).

El objetivo general del proyecto es el de contribuir con los esfuerzos de conservación a largo plazo de los recursos genéticos de papas nativas de Huánuco. Los objetivos específicos del proyecto son:

- implementar un sistema que integre las diferentes modalidades de conservación;
- implementar un modelo de banco de germoplasma autosostenible;
- identificar los niveles de reacción de las papas nativas a la sequía y al calor, e
- identificar factores de adaptación genética a la sequía y el calor.

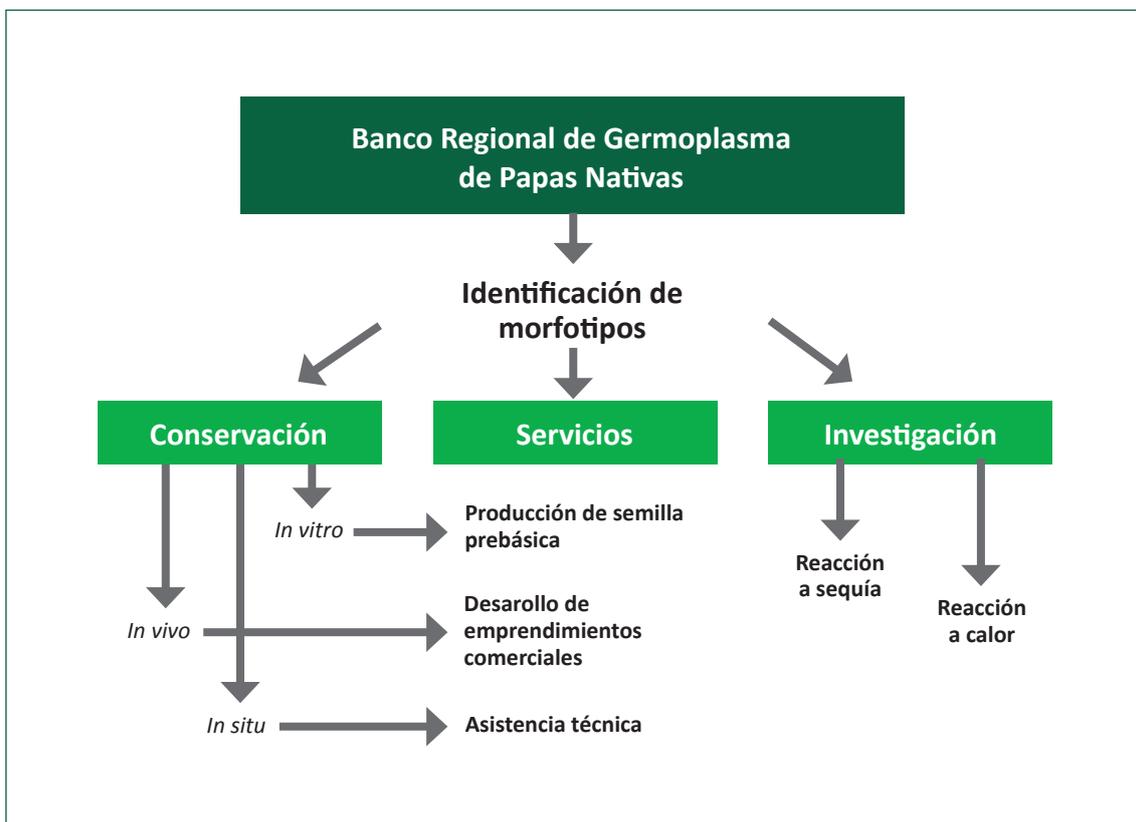
Las actividades del proyecto se resumen en el Gráfico 2. Se está implementando un banco regional de germoplasma (BRG) que cuenta actualmente con 614 muestras de papas nativas colectadas de tres provincias de la Región Huánuco y en el que se ha realizado una primera caracterización botánica conjuntamente con un registro de sus atributos de importancia comercial.

Se propone que la conservación en el BRG sea un sistema conformado por instituciones, asociaciones de productores y agricultores individuales interesados tanto en la conservación de papas nativas como en formar parte de cadenas productivas que generen ingresos, empleo y desarrollo rural. Las actividades del Banco deben garantizar la conservación a largo plazo utilizando mecanismos de autosostenibilidad.

En la conservación se están utilizando procedimientos de conservación *in situ* y *ex situ* (*in vivo* e *in vitro*). Se ha almacenado una réplica de tubérculos en el Instituto Regional de Desarrollo (IRD) de Sierra de la UNALM (Jauja, Junín) para su conservación *in vivo* (sin siembra) de una cosecha hasta la siguiente y su regeneración a partir de brotes en la eventualidad de pérdidas en el campo de mantenimiento *in vivo*.

De otro lado, hasta la fecha se han ingresado 187 muestras Tipo (variedades) para su mantenimiento *in vitro* en el Instituto de Biotecnología de la UNALM, que, a partir de ellas, producirá plántulas *in vitro* para la multiplicación en forma de tubérculos semilla prebásica. Estas se distribuirán a familias y comunidades relacionadas o colaboradoras con el BRG, quienes

Gráfico 2: Esquema de actividades del proyecto UNALM / PNIA para la conservación de papas nativas de la Región Huánuco



recibirán asistencia técnica para el mejoramiento de sus capacidades de conservación *in situ*.

Las investigaciones que se realizan están orientadas a identificar la vulnerabilidad al calor y sequía de las variedades Tipo del BRG mediante indicadores morfológicos, fisiológicos y bioquímicos. En el IRD se caracterizará la reacción a la sequía bajo cobertores con aislamiento de lluvia. La reacción al calor se evaluará en plantas crecidas en costa en los meses de mayor temperatura (noviembre a marzo). Finalmente, se identificarán factores genéticos de adaptación al calor y frío en progenies sexuales de medios hermanos, autofecundaciones y progenies de hermanos completos.

Al finalizar el proyecto, el BRG debe haber consolidado su organización y haber implementado su infraestructura para ofrecer los siguientes servicios que contribuyan a su sostenibilidad:

- 1. Conservación:** El BRG brindará un servicio de utilidad ambiental y a favor de la seguridad alimentaria de las próximas generaciones no solamente de Huánuco sino del Perú y, aún más, del mundo entero.
- 2. Semillas de calidad:** El BRG producirá de manera continua tubérculos semilla de alta calidad sanitaria que serán puestos a disposición de los productores que conformen la red de producción del sistema.
- 3. Asistencia técnica:** El personal profesional y técnico del BRG estará suficientemente capacitado para brindar asistencia técnica a las asociaciones y agricultores que conformen el sistema de producción de papas nativas.

4. Apoyo comercial: El BRG contará con personal encargado del apoyo comercial a la red de productores de papas nativas.

5. Investigación: El BRG alentará iniciativas que formulen planes, programas y proyectos que contribuyan al mayor conocimiento y utilización equitativa de las características y atributos ventajosos de las papas nativas en un escenario de cambio climático.

3. Bibliografía

- 1. IPCC. (2014).** Climate Change 2014: Synthesis Report. En Core Writing Team, Pachauri R. K. y Meyer, L. A. (Eds.). *Proceedings of the Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ginebra: IPCC.
- 2. Li, P. H. y Fennell, A. (1985).** Potato Frost Hardiness. En Li, P. H. (Eds.) *Potato Physiology*. Academic Press Inc., 457-481.
- 3. Mendoza, H. A. y Estrada, R. N. (1979).** Breeding Potatoes for Tolerance to Stress: Heat and Frost. En Mussell, H. y Staples, R. C. (Eds.). *Stress Physiology in Crop Plants*. New York: Jhon Wiley & Sons, 227-262.
- 4. Revilla, P., Butrón, A., Cartea, A. M., Malvar, R. A. y Ordás, A. (2005).** Breeding for Cold Tolerance. En Ashraf, M. y Harris, P. J. C. (Eds.). *Abiotic Stresses*. Haworth Press, 301-398.



Productividad de la palma aceitera en el ámbito de la Amazonía

Ing. Rolando Reyes Salazar

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) es una especie originaria del Golfo de Guinea en África que llega al Perú en 1968, cuando la Empresa para el Desarrollo y Explotación de la Palma Aceitera (Emdepalma) instala las primeras 1 000 ha en la zona de Tocache. De acuerdo a un reporte de la Junta Nacional de la Palma Aceitera del 2016, este cultivo involucra a más de 7 600 familias que generan desarrollo en cuatro regiones de la Amazonía peruana: Ucayali con 35 800 ha (42 %), San Martín con 32 370 ha (38 %), Loreto con 14 420 ha (17 %) y Huánuco con 3 635 ha (4 %). Es importante señalar que el cultivo de la palma aceitera genera un alto número de empleos. Así, por cada 10 ha sembradas se genera un empleo directo y cinco indirectos.

Las condiciones agroclimáticas del trópico, la humedad, altitud y suelos, son favorables para el desarrollo del cultivo de palma aceitera. Cuantitativamente, el cultivo de palma aceitera es superior a los cultivos forestales en producción de oxígeno y fijación de CO₂. Es un cultivo permanente de reforestación, ya que recupera superficies deforestadas y suelos degradados, originados por agricultura migratoria y cultivos ilícitos. Además tiene, bondades ambientales como cobertura del suelo que elimina riesgos de erosión, cero labranzas, control químico focalizado, autogeneración de energía y certificación RSPO (Mesa Redonda del Manejo Sostenible de Palma de Aceite) en todo el proceso. En la actualidad, esta región tiene un potencial de 225 000 ha disponibles para el cultivo de palma aceitera según los estudios realizados por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) en la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE).

1. Factores que afectan la productividad de la palma aceitera en la Amazonía peruana

En general, la productividad de cualquier cultivo está directamente relacionada con el clima, el suelo, la planta y el manejo agronómico (este último considerado como un factor controlable). El cultivo de palma aceitera es bastante tolerante en cuanto a las características químicas del suelo, donde los mejores resultados de productividad se han logrado observar en suelos ricos en humus y con elementos nutritivos bien equilibrados. Diversas investigaciones agronómicas han establecido que la palma aceitera es un cultivo muy exigente en nutrientes que depende mucho de la fase en la que se encuentre.

En la **fase inmadura**, entre 0 a 24-30 meses de edad, se debe hacer mucho énfasis en el aporte de P y N, ya que son los nutrientes que tienen mayor impacto en el crecimiento de raíces y de la parte aérea del cultivo; pero, paralelamente, se debe ir trabajando de la mano con el K, Mg, S, B, Zn, Cu y Si, que son los que van a sostener la productividad futura. Los requerimientos en los primeros años de cultivo dependen de la velocidad de crecimiento del material, del tipo de suelo, de la precocidad (inicio de producción), de las pérdidas potenciales y del rendimiento potencial del sitio. En esta etapa es importante el manejo fraccionado de los fertilizantes, especialmente de N, que puede ir de 3 a 4 rondas anuales; el sitio de colocación es en el plato o donde se encuentre el mayor volumen y actividad de raíces terciarias y cuaternarias (Tiemann *et al.*, 2018).

En la **fase madura**, que comprende la etapa joven del cultivo (3 a 8 años de edad) y la etapa principal (de 9 años hasta el momento de renovación), se debe tener mucho cuidado con el manejo nutricional, ya que el cultivo va a demandar nutrientes para el crecimiento y compensar nutrientes exportados en la producción de racimo de fruto fresco (RFF). Por lo tanto, se sugiere hacer seguimiento de resultados de análisis del suelo, monitoreo de las variables de crecimiento y de resultados de análisis foliares, distribución mensual de inflorescencias femeninas y de la producción que ayudará a estimar los requerimientos e identificar las mejores épocas para colocar los fertilizantes. En cultivos establecidos con cobertura se deben tener en cuenta los requerimientos y aportes de nutrimentos por las co-

berturas al sistema; pero, de no tener coberturas, se debe estimar la ineficiencia causada por la competencia por nutrientes entre gramíneas y arvenses. En la etapa de prerenovación, que comprende desde los 24 a 30 años de edad (dependiendo de la altura de las palmas, que está relacionada con el material genético, el tipo de suelo y el manejo), se debe empezar a tener ahorros de fertilizantes, cuya estrategia consiste en disminuir la aplicación de nutrimentos como Mg y P desde el quinto año, luego K desde el segundo año y, finalmente, N en el último año (Tiemann *et al.*, 2018).

Es importante tener en consideración que en las diferentes etapas se deben utilizar herramientas de diagnóstico para la selección de fuentes, dosis, épocas y sitios de aplicación (4Rs de la nutrición en el cultivo de palma aceitera). El manejo integrado de suelos y nutrición debe ser dirigido bajo los criterios de la RSPO.

2. Efecto de las buenas prácticas agrícolas (BPAs) en la productividad de la palma aceitera

Las buenas prácticas agrícolas se empezaron a implementar en el año 2000 en la plantación PT Asiatic Persada en Jambi (Indonesia) con el fin de intensificar la producción en palma de aceite. Posteriormente, el International Plant Names Index (IPNI) del Sureste Asiático adoptó estas buenas prácticas para implementarlas en seis plantaciones en Indonesia. Estas prácticas fueron transferidas por la compañía K+S KALI GmbH al final del año 2010 a Colombia y Ecuador (Fairhurst y Ditschar, 2014), y, posteriormente, fueron replicadas por la empresa privada en la zona de Tocache a finales del 2014.

Entre el 2006 y el 2016, el Perú duplicó su área sembrada a 86 225 ha, pero mantuvo los rendimientos promedios entre 12-14 TM RFF/ha, a diferencia de Guatemala, que con 150 000 ha sembradas, aumentó su rendimiento promedio en 6 TM/ha en la última década (Cristancho, 2015).

La tendencia decreciente del precio internacional del aceite crudo de palma (CPO) hace necesario que se intensifique la productividad por hectárea con el fin de que las plantaciones sean rentables, aun si los precios bajaran más en el futuro. Las **BPAs** permiten intensificar la productividad sin realizar grandes inversiones.

En el Perú, el crecimiento de la producción de palma aceitera se produce más por la expansión del área sembrada que por el aumento del rendimiento por hectárea. Parte de esta expansión es el resultado de la conversión de áreas boscosas en áreas cultivables, con todos los efectos negativos que esto acarrea. El consenso favorece, en cambio, la expansión en áreas degradadas o a través de la intensificación del rendimiento por hectárea. Así, las **BPA**s en palma aceitera se focalizan en el aumento de la productividad.

Una definición resumida de las **BPA**s, es **“hacer las cosas bien en el momento adecuado”** y **“dar garantías de ello”**, lo que permite que los cultivos alcancen su máximo rendimiento. En el cultivo de palma aceitera pueden ser definidas como los métodos más prácticos y costo-efectivos para alcanzar un objetivo mientras se hace uso óptimo de los recursos de una empresa agrícola (Fairhurst y Ditschar, 2014). Las **BPA**s pueden contribuir a minimizar las brechas entre el rendimiento potencial y el rendimiento actual. Los factores limitantes, como, por ejemplo, el clima, la precipitación y la variedad sembrada no se pueden cambiar, pero con las **BPA**s se pueden optimizar el manejo en las plantaciones para cosechar el máximo de racimos posibles con el clima existente y la variedad sembrada.

Descripción de las brechas de productividad en la palma aceitera

La diferencia entre el máximo rendimiento potencial y el rendimiento actual del cultivo de palma aceitera se puede dividir en cuatro brechas diferentes, subsanables con la implementación de las **BPA**s (Ditschar, 2016).

La brecha 1

está causada por el mal manejo durante la siembra y el desarrollo de la plantación. Los errores cometidos durante la etapa de desarrollo de la plantación no pueden ser eliminados con las buenas prácticas y por eso el rendimiento reducido será permanente en un ciclo de una plantación. La brecha 1 puede minimizarse con la preparación del terreno para la próxima resiembra junto con técnicas adecuadas en el vivero. Entre los factores que influyen en la expresión de esta brecha se encuentran la deficiente selección del material de siembra en el vivero; el daño permanente del suelo durante la limpieza de terrenos; la preparación y desarrollo de la plantación; la falta de infraestructura para el establecimiento del cultivo; la densidad del cultivo por hectárea; la falta de establecimiento de plantas de cobertura, y el mantenimiento del drenaje durante

los primeros años después de la siembra hasta al principio de la cosecha.

La brecha 2

está definida por el menor rendimiento debido al desbalance nutricional. Existe un concepto para explicar los cuatros requisitos para la correcta aplicación de los fertilizantes (la fuente idónea de nutrientes, la dosis, el momento de la aplicación y el sitio de la aplicación) (IPNI, 2012). La mala implementación de estos requisitos tiene un fuerte impacto sobre el rendimiento. Cerrar esta brecha es responsabilidad del personal técnico de campo a cargo de cada plantación y puede tomar de 3 a 4 años debido al lapso de tiempo entre la implementación de las recomendaciones de fertilizantes para utilizarlos correctamente y su efecto completo sobre el rendimiento. Otros factores responsables de la brecha 2 son los errores en el muestreo foliar, en los análisis de suelos y en su interpretación; la evaluación inadecuada de los requerimientos de nutrientes; la falta de pruebas para identificar la respuesta a cada nutriente e interacciones entre nutrientes; el uso de fertilizantes inadecuados e insolubles y su aplicación desbalanceada.

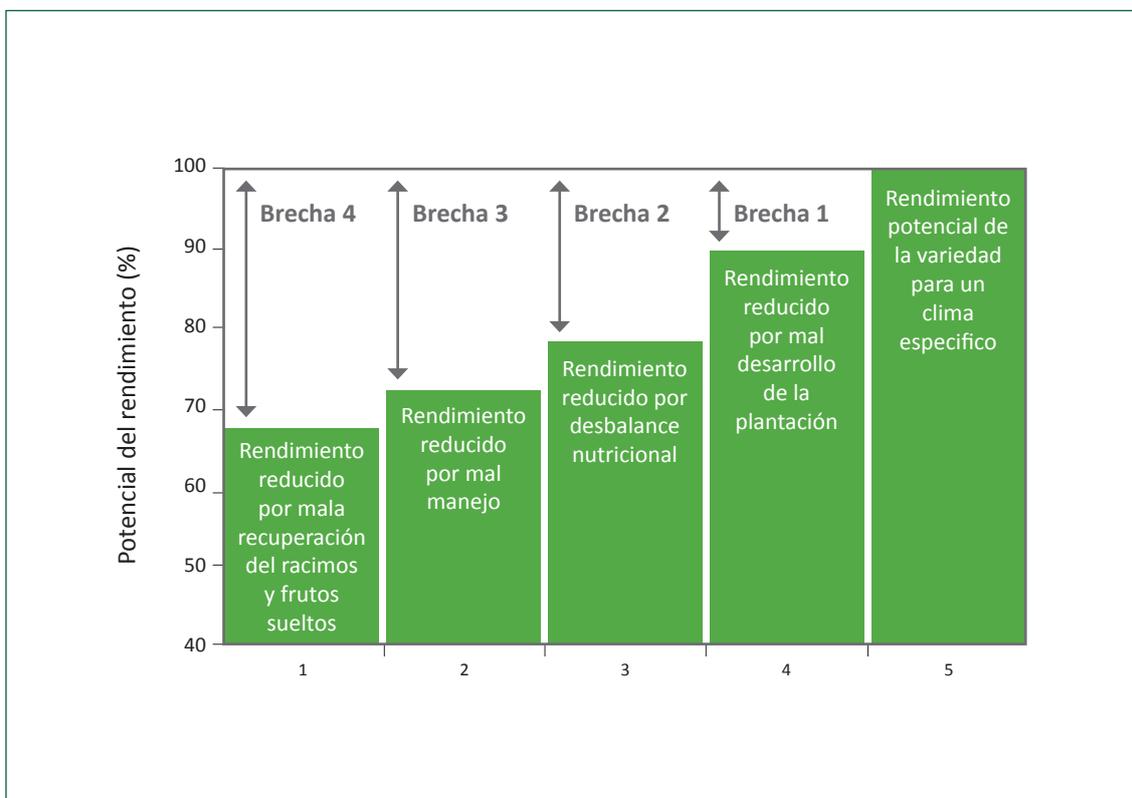
La brecha 3

se presenta por el mal manejo en el campo y por un mantenimiento ineficiente de la palma en su etapa de producción. La responsabilidad de esta brecha es del equipo de trabajo en el campo. Los conceptos deben estar claros por parte de los agrónomos y de sus supervisores, y, para ello, los supervisores tienen que explicarles el trabajo adecuadamente. En general, las causas del menor rendimiento por esta brecha son la alta presencia de plantas competidoras; el mal manejo del agua en los lotes; la falta de control del crecimiento de la corona y de la cantidad óptima de las hojas (poda), y el insuficiente control de plagas y enfermedades.

La brecha 4

tiene un efecto directo sobre el rendimiento que es causado por la mala recuperación de los frutos sueltos, recolección de los racimos cosechados y transporte de la cosecha a la planta extractora. La recuperación completa de los racimos, en lugar de ser un problema agronómico, es básicamente un problema de la falta de disciplina y control durante la cosecha y la organización logística. Esta brecha se presenta cuando el acceso a los lotes no está garantizado, especialmente durante el tiempo con alta precipitación; por falta de personal durante la cosecha; falta de vehículos de transporte; falta de capacidad de procesamiento por parte de la planta extractora; presencia de intervalos de cosecha

Gráfico 1: Brechas de productividad en el cultivo de palma aceitera



prolongados o cosecha incorrecta, y falta de control y manejo de los estándares mínimos de madurez. Otra de las pérdidas en esta brecha está causada por el estándar en la cosecha. Los racimos verdes tienen una tasa de extracción más baja, lo cual genera un menor rendimiento de aceite. Un estándar en la cosecha con tres pepas sueltas en el plato demuestra la madurez del racimo. Sin embargo, se debe tener en cuenta el material sembrado. El control del estándar de la cosecha y de las rondas de cosecha (máximo diez días) es, por lo tanto, un aspecto importante para el cierre de esta brecha.

3. Casos de aplicación de las BPAs en la palma aceitera

A finales del año 2014, se replicaron las BPAs en palma aceitera en la zona de Tocache, a través de la participación de la empresa privada y un grupo de agricultores. Los mayores impactos se observaron a los tres años de la implementación, tiempo muy relacionado con el periodo de diferencial sexual-cosecha de RFF. Entre los criterios utilizados en la implementación de las BPAs, se encuentran:

1. el uso de la Guía de calificación del índice de balance tecnológico (Cenipalma, 2012);
2. el análisis del sistema de drenaje luego de haberse instalado los tubos freáticos y el establecimiento de un programa de apertura;
3. la facilitación de las labores de cosecha y otras labores agronómicas para mejorar el rendimiento de cada labor;
4. el mantenimiento de rondas de cosecha de 10-12 días tomando como criterio 2-3 frutas sueltas;
5. la recolección de fruta suelta, máximo 12-24 horas después de la cosecha y con <1 % de impureza;
6. el mantenimiento de frecuencias de poda de 10 a 12 meses;
7. seguimiento de los criterios de las 4Rs para reforzar niveles (K: 1,0-1,2 %, Mg: 0,26-0,28 % y B: 15 ppm);
8. la reducción de umbrales y detección y control de plagas a través de grillas y cuadrículas;
9. la distribución transversal entre plantas de las hojas cortadas durante la poda y cosecha, lo que incrementa el área efectiva del crecimiento de las raíces, como parte previa de la fertilización mecanizada;
10. la aplicación en áreas de texturas gruesas y bajo contenido de materia orgánica de escobaajo entre 40-50 TM/ha;

11. el manejo y corrección del suelo en relación con las características edáficas evaluadas.

Relación de la productividad y el índice de balance tecnológico (IBT) (N = 15 agricultores)

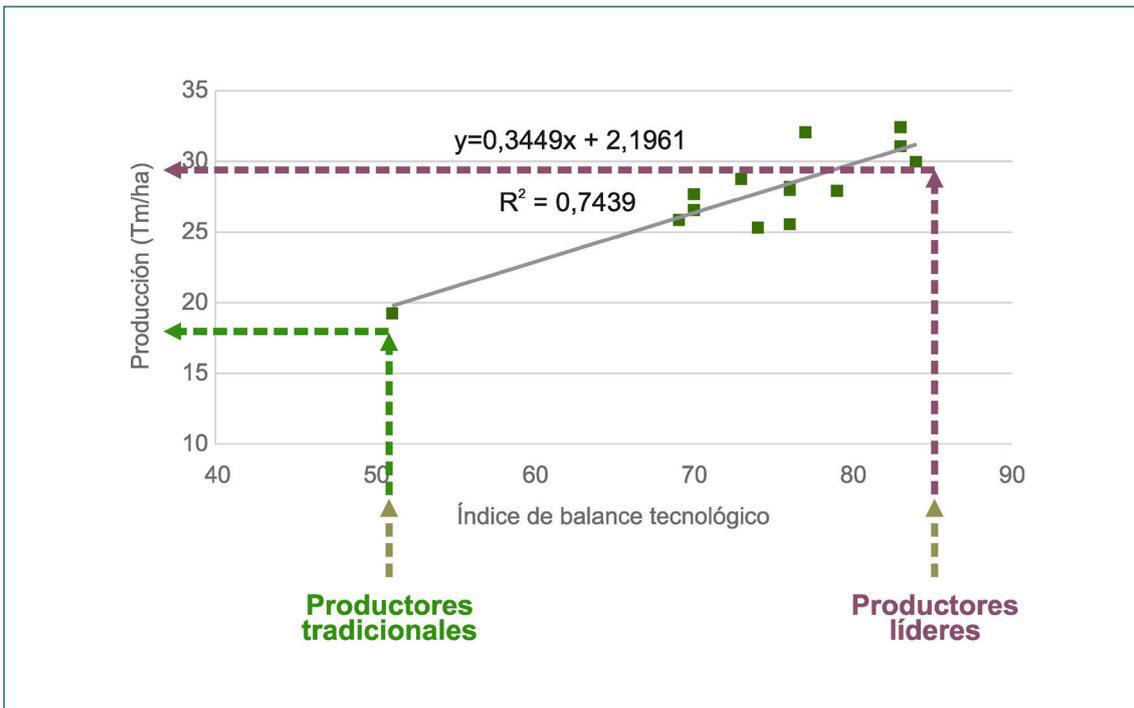
A fin de evaluar la relación existente entre el IBT y la productividad de palma aceitera, se registraron valoraciones del manejo agronómico de 15 agricultores, considerando el manejo actual y el promedio realizado en los tres años anteriores. Los principales resultados se muestran en el Gráfico 2. La relación obtenida entre el IBT y la productividad es directa y positiva, lo que nos estaría demostrando que con una mejor realización de las labores agronómicas (mayor IBT) se logra una mayor productividad del cultivo de palma aceitera (situación representada por los agricultores líderes). Por otro lado, una menor realización de las labores agronómicas (menor IBT) da como resultado una menor productividad de RFF (situación representada por los agricultores tradicionales). Esto demuestra que la productividad de las plantaciones de palma aceitera está muy relacionada con el nivel tecnológico y el cumplimiento correcto y oportuno de las labores agronómicas, donde las plantaciones con IBT alto corresponden a niveles de alta productividad.

4. Efecto de la fertilización en la productividad de la palma aceitera

Los suelos tropicales son pobres en nutrientes debido a que están caracterizados por una profunda degradación. La materia orgánica y el aporte de nutrientes a través de fertilizantes juegan un papel clave en la fertilidad del suelo como fuente de nutrientes para las plantas y cumplen muchas funciones de tipo biológico, químico y físico (por ejemplo, el intercambio de los cationes).

El aumento del peso y mayor número de racimos se explican por el efecto de una fertilización más balanceada. El potasio regula el movimiento de los carbohidratos (Cakmak, 2005) a través del floema para el llenado de los racimos. La deficiencia de potasio produce la acumulación de los carbohidratos de la fotosíntesis en las hojas y la disminución de su transporte a los racimos. La presencia de bandas blancas en las hojas jóvenes de las palmas son los síntomas más visibles si el nitrógeno y el potasio no están en balance (el balance **óptimo** entre N y K2O es 1:2). Las bandas blancas reducen el área de fotosíntesis y el resultado será una menor producción de carbohidratos y, por ende, un menor rendimiento.

Gráfico 2: Relación del IBT y la productividad de palma aceitera en agricultores de la zona de Tocache.



A continuación, se muestran los principales resultados de un ensayo desarrollado por 20 años en la zona de Tocache, donde se probaron diferentes dosis de nutrientes y se determinaron los niveles óptimos para cada nutriente.

1. Existe un impacto significativo en la producción de RFF a través de una fertilización balanceada que involucra aportes promedios de 5 kg/planta/año de fertilizantes inorgánicos.
2. La fertilización balanceada en el cultivo de palma aceitera involucra costos aproximados de USD 230-280/ha/año (equivalente a 2,0-2,5 TM de RFF).
3. El impacto entre la no fertilización y fertilización fue de 6 a 8 TM RFF/ha/año, cuyos diferenciales de producción con los materiales actuales estarían sobrepasando 12-14 TM/ha de RFF, mediante la aplicación de las 4Rs de la nutrición.

5. Efecto del drenaje en la productividad de la palma aceitera

El sistema de drenaje y riego son fundamentales para el cultivo de la palma aceitera, ya que en conjunto mantienen un ambiente adecuado en el suelo. Una buena aireación del mismo permite a las plantas la absorción apropiada de agua y nutrientes. Por esta razón, para tener un excelente desarrollo del cultivo, el oxígeno es indispensable para la respiración de las raíces. El exceso de humedad en el suelo por periodos prolongados da origen a problemas de drenaje agrícola que pueden tener diferentes causas; por ello, es necesario identificar en primera instancia la fuente del exceso de agua antes de proceder con el diseño de una solución de drenaje. En cualquier situación se debe prevenir que el nivel freático esté cercano a la superficie del suelo y afecte negativamente el desarrollo y producción de los cultivos (Silva y Álvarez, 2015; 2016).

El Dr. Álvaro Acosta (2010) manifestó que entre los puntos importantes que afectan la efectividad de la nutrición y también la expresión del potencial productivo de las plantaciones se encuentran, sin duda, el riego, el drenaje y las enfermedades. Si los problemas asociados a ellos no se corrigen, será muy difícil lograr mejores eficiencias del fertilizante. Es de suma importancia definir con precisión

las necesidades de riego y de drenaje porque en ambos casos el impacto se refleja directamente en la producción. En forma muy similar al estrés hídrico por exceso de agua, el déficit hídrico ejerce un efecto perjudicial en la productividad de la palma aceitera. Se han reportado pérdidas de hasta 28 kg de RFF/ha por cada mm de déficit hídrico. Las consecuencias de este déficit en el comportamiento del cultivo de palma aceitera son la acumulación de flechas; la reducción del índice del área foliar; la perturbación de la diferenciación sexual, que origina un mayor ciclo de flores masculinas; el aborto de las inflorescencias; la estacionalidad de los rendimientos; el colapso de las hojas verdes y secamiento de los racimos, y el secado de las hojas bajas.

6. Relación del área foliar y productividad en la palma aceitera

Muchos estudios realizados para demostrar el efecto del área foliar en la productividad de la palma aceitera han demostrado una relación directa entre estas dos variables. El área foliar y el índice del área foliar (IAF) del cultivo de palma aceitera están muy relacionados con el número de hojas, de ahí que el presente estudio ha permitido establecer el número óptimo de hojas que debería mantener el cultivo de palma aceitera en función de su edad para alcanzar las más altas productividades de RFF. Estos resultados han permitido demostrar que las plantaciones inmaduras (0 a 3 años) hasta el término del primer año productivo (4 años de edad) deberían mantener el mayor número posible de hojas, motivo por el cual hay que tener mucho cuidado de no quitar (podar) las hojas que se encuentran en el tercio inferior de la copa del cultivo. Las plantaciones entre 4 a 6 años de edad deberían mantener un promedio de 48 hojas/planta (6 espirales completos) y plantaciones de más de 6 años de edad deberían mantener 40 a 42 hojas/planta en promedio. Estos números de hojas en etapa productiva permiten al cultivo de palma aceitera lograr el IAF entre 5,0 a 7,0, índice que está muy relacionado con la producción de fotosintatos en el cultivo y, a su vez, con los resultados de máxima productividad de RFF. El análisis de estas dos variables ha permitido concluir que, a mayor reducción del IAF, los rendimientos se ven disminuidos significativamente y que IAFs óptimos, entre 6,0 y 7,0, permiten obtener productividades >30 TM/ha.

7. Conclusiones

Estudiados y analizados los principales factores con impacto significativo en la producción de palma aceitera, podemos concluir lo siguiente:

1. Las BPAs en palma aceitera han demostrado ser una estrategia que posibilita la intensificación de la productividad de RFF, lo que permite lograr producciones en las zonas de ejecución por encima de las 30 TM/ha/año.
2. A los 3 años de implementadas las BPAs en palma aceitera, período acorde a la diferencial sexual mostrada por el cultivo de palma aceitera, se ve el mayor impacto en una mejora en la recuperación productiva de las 4 brechas.
3. Un indicador clave de realización de las BPAs es la evaluación del IBT, el cual demuestra tener una relación directa significativa con la productividad de RFF en el cultivo de palma aceitera. Así, agricultores tradicionales con productividades similares al promedio nacional tienen un IBT = 50, mientras que agricultores líderes con productividades que superan las 30 TM/ha/año tienen IBT >85.
4. Existe un efecto directo entre la fertilización balanceada (acorde a las características de suelos, estado nutricional y requerimiento de “extracción” del cultivo) y la productividad de RFF en la palma aceitera. Se han demostrado diferenciales >6-8 TM/ha/año entre tratamientos sin fertilizar vs. fertilización balanceada.
5. Los promedios de fertilización balanceada fluctúan entre 5,0 a 6,0 kg de fertilizante/planta, cuyas cantidades deben ser ajustadas teniendo en consideración las características edáficas, las características nutricionales del cultivo (resultados de análisis foliar) y su productividad, factor que presenta una relación directa con la cantidad de nutrientes exportados a través de las cosechas.
6. Existe un impacto perjudicial del estrés hídrico en la productividad de la palma aceitera. Los estudios han permitido demostrar que se pierde entre 3,2 a 5,0 TM de RFF/ha/año por condiciones de mal drenaje.
7. El manejo apropiado del área foliar (dosel de la planta) es un aspecto clave para la maximización del rendimiento de RFF en la palma aceitera, el cual está directamente relacionado con el número de hojas, variable en relación con la edad

del cultivo. En etapas productivas, la cantidad óptima es de 40-42 hojas/planta.

8. Bibliografía

1. **Acosta, G. A. (2010).** Manejo integrado de la nutrición de la palma de aceite: experiencias en América tropical. *Revista Palmas*. Colombia, 178-190.
2. **Cakmak, I. (2005).** The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 168, 521-530.
3. **CENIPALMA. (2012).** *Guía de calificación del nivel tecnológico de plantaciones de palma de aceite*.
4. **Cristancho, J.A. (2015).** Criterios y bases técnicas para el manejo integrado de la nutrición de la palma de aceite. *Boletín Técnico 1*. Guatemala: GREPALMA.
5. **Ditschar, B. (2016).** Buenas prácticas de manejo en el cultivo de palma de aceite en América Latina. *Palmas 37*, especial Tomo I, 53-62.
6. **Fairhurst, T. y Ditschar, B. (2014).** Uso de la implementación de la fase piloto de las mejores prácticas de manejo para mejorar la producción en plantaciones de palma de aceite. Alemania: Verlagsgesellschaft für Ackerbau.
7. **IPNI. (2012).** 4R Plant Nutrition: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition. Recuperado de <http://www.ipni.net/4R>
8. **Silva, J. H. y Álvarez, O. M. (2015).** Criterios y bases técnicas para el manejo integrado del agua —riego y drenaje—. I parte. *Boletín Técnico 2*. Guatemala: GREPALMA.
9. **Silva, J. H. y Álvarez, O. M. (2016)** Criterios y bases técnicas para el manejo integrado del Agua —Riego y Drenaje—. II Parte. *Boletín Técnico 3*. Guatemala: GREPALMA.
10. **Tiemann, T. T., Donough, C. R., Lim, Y. L., Härdter, R., Norton, R., Tao, H. H., Jaramillo, R., Satyanarayana, T., Zingore, S., Oberthür, T. (2018).** Feeding the Palm: A Review of Oil Palm Nutrition. *Advances in Agronomy*, 152, 1-95.



Estrategias tecnológicas para reducir el contenido de cadmio en las almendras del cultivo de cacao

Dr. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui

1. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L) es una especie cuyas almendras son utilizadas por la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Nuestro país posee una diversidad de poblaciones de cacaos, nativos, naturalizados y exóticos, cuyo potencial para el biocomercio es enorme y estratégico. La demanda de este producto básico (*commodity*) continúa aumentando a nivel mundial por ser reconocido como alimento funcional por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antitumorales.

El cadmio es un metal pesado no esencial y poco abundante en la corteza terrestre; sin embargo, en las últimas décadas se ha incrementado considerablemente su acumulación como consecuencia de la actividad industrial. La contaminación por cadmio puede causar serios problemas a los organismos vivos y es altamente tóxico para el ser humano. Una posible fuente de contaminación por cadmio en humanos es la ingesta de plantas contaminadas. Por este motivo es importante conocer cuáles son los mecanismos de toxicidad de este metal en la planta, así como los mecanismos de defensa de la misma. En este trabajo se ha realizado una revisión de los mecanismos de hiperacumulación y fitoextracción de cadmio, de la toxicidad de este metal y las principales fuentes de contaminación.

En el Perú, diversos análisis de suelos y plantas de cacao (Cárdenas, 2012; Huamaní et al., 2012; Acosta, 2013) reportan la presencia de metales pesados tóxicos, cadmio (Cd) y plomo (Pb), que se acumulan en el suelo y en el tejido foliar y almendras del cacao. Si bien estas últimas son procesadas y comercializadas como productos terminados (v.g. chocolates), no tienen la garantía de inocuidad.

El país requiere formular un plan de acción que contemple actividades estratégicas tales como (i) elaboración de un mapa de suelos a nivel nacional con la distribución espacial de plantaciones de cacao que incluya, además del cadmio, otros metales pesados; (ii) ejecución de investigaciones interdisciplinarias que expliquen el mecanismo de contaminación de suelos por cadmio, así como los mecanismos fisiológicos del mismo dentro en la planta de cacao; (iii) desarrollo de estrategias de mitigación, fitorremediación y adaptación (exclusión e hiperacumulación) de las variedades de cacao al cadmio y metales pesados; (iv) revisión y actualización de la normatividad de los límites máximos permisibles.

2. Investigación sobre el cadmio realizada en la Amazonía

2.1 Contenido de cadmio (Cd) en los suelos y almendras de cacao

En el 2011, la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, Ltda., realizó un estudio con el concurso de la Ing. Erika Lumbe Portocarrero para determinar el contenido de Cd en suelo y en muestras de almendras de cacao. Los resultados indicaron que el contenido de Cd disponible en el suelo fluctuaba entre 0,089 a 3,028 ppm, con un promedio de 0,55 ppm; mientras que el Cd total en las muestras de almendras (71 analizadas) variaba entre 0,04 y 4,11 ppm, con un promedio de 0,75 ppm.

Otro estudio llevado a cabo en ese mismo año por los Ing. Huamaní-Yupanqui y Huauya-Rojas, para TechnoServe, Inc/CITE-Cacao, encontró que los contenidos promedio de Cd y Pb extraíbles en los suelos de la región San Martín eran 0,110 y 0,838 mg/kg, respectivamente. El análisis de almendras de cacao de la misma región reportó 1,333 mg/kg para el Cd y 0,586 mg/kg de Pb. Este contenido promedio de Cd está por encima del límite permisible fijado por la OMS-FAO (0,5 mg/kg). Los valores de Pb se encontraron dentro de los límites permisibles, por lo que no constituyen un problema para la producción de cacao. Se encontró una correlación de 18,4 % del Cd extraíble del suelo con el Cd contenido en las almendras del cacao.

Huamaní-Yupanqui et al. (2012), con el objetivo de determinar los contenidos de Cd y Pb disponibles en los suelos y en las hojas de cacao orgánico, realizaron análisis de correlación de Pearson entre los contenidos de Pb y Cd disponibles en el suelo con

variables foliares (P, Mg, Ca, Zn, Cd, Pb) y del suelo (arena, arcilla y K). Se encontró una correlación significativa y positiva ($p < 0,05$) entre el Cd total en el tejido foliar y el Cd disponible en el suelo; por el contrario, la correlación entre Cd en el suelo con el contenido foliar de Ca y Mg fue significativa pero negativa. En los suelos, se encontraron deficiencias solo para K, mientras que en el tejido foliar se presentaron deficiencias de N, P, K, Mg y Zn. Los valores promedio de Cd y Pb disponibles en los suelos fueron 0,53 y 3,02 ppm, y en las hojas de cacao fueron 0,21 y 0,58 ppm, respectivamente.

Cárdenas (2012) realizó un estudio con el objetivo de determinar la presencia de Cd en el cultivo de cacao orgánico en algunas parcelas de los agricultores de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) en Tingo María. El valor promedio de Cd disponible en los suelos fue de 0,66 ppm. A nivel foliar, el valor promedio de Cd total fue de 2,84 ppm. En las almendras y cascarillas, los valores promedio de Cd total fueron 1,55 y 2,04 ppm, respectivamente.

En el 2013, la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo ejecutó un proyecto de investigación cuyo objetivo era desarrollar un plan de manejo de fertilización orgánica para la reducción del contenido de Cd en las almendras del cacao. En la primera etapa del proyecto se encontró que el contenido promedio de Cd y Pb en el suelo fue 0,23 y 5,11 ppm, mientras que en las almendras fue 1,54 y 13,70 ppm, respectivamente.

Arévalo-Gardini et al. (2016) investigaron los contenidos totales de metales pesados (Cd, Ni, Pb, Fe, Cu, Zn, Mn) en los suelos de plantaciones de cacao en las principales áreas de producción del Perú: Zona Norte (Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas); Zona Central (San Martín, Huánuco y Junín) y Zona Sur (Cuzco). Los resultados indicaron que los suelos estudiados presentan adecuadas condiciones físicas y químicas para el cultivo de cacao. Los valores de metales pesados se encontraron por debajo de lo considerado como fitotóxico. Los valores promedio de Fe, Zn, Mn, Ni y Pb fueron mayores en la Zona Sur, mientras que, en la Zona Norte, los valores de Cu y Cd fueron mayores. De manera general, el pH, el porcentaje de arcilla y el Mg fueron las variables que tuvieron mayor correlación con la concentración de metales pesados.

Los resultados de las investigaciones anteriores nos indican que los suelos del país no califican como para ser considerados como suelos contaminados por Cd según los rangos de estándares de calidad

del suelo, que fijan en 1,4 ppm de Cd total para suelos agrícolas. Sin embargo, el contenido de Cd en las almendras de cacao de algunas zonas sí estarían sobrepasando los estándares fijados por la Comunidad Europea.

2.2 Investigaciones para reducir el contenido de cadmio en las almendras del cacao

El proyecto Desarrollo de una Tecnología Orgánica en el Proceso Productivo y Postcosecha para Reducir los Niveles de Asimilación de Cadmio en las Almendras de Cacao en el Valle del Alto Huallaga, financiado por Innovate/FINCYT-PIEI, se llevó a cabo con el objetivo de determinar la eficiencia de secuestradores y precipitadores de Cd a nivel del suelo en la disminución del Cd en las almendras de cacao del clon CCN-51 en dos tipos de suelos, aluvial y coluvial, a cargo del Ing. Cesar Dávila de la UNAS (2017-2018). Los tratamientos con diferentes materiales orgánicos lograron reducir el Cd inicial (almendras) de 3,53 a 0,6 ppm de Cd disponible en el suelo. Los resultados se basan en el análisis de una muestra compuesta de almendras de toda la parcela antes de iniciar la aplicación de los materiales orgánicos versus el análisis de Cd disponible en el suelo después del experimento. Para evaluar el efecto de la dolomita en el contenido de Cd en almendras de cacao se seleccionaron dos parcelas de diferente relieve, plana y colinosa, y se instalaron experimentos en los que se evaluó el efecto de dolomita y dolomita + *bocashi* a cuatro dosis cada uno incluyendo un testigo, con un total de nueve tratamientos. El tratamiento con dolomita (1 350 kg/planta) junto con *bocashi* (9 kg/planta) logró un contenido de Cd en almendras de 0,488 ppm, un valor por debajo del límite permitido para la exportación. Para evaluar el efecto de la materia orgánica en el contenido de Cd en almendras de cacao se seleccionaron también dos parcelas de diferente relieve, planicie y colinoso, en donde se instalaron experimentos con tres fuentes de materia orgánica a tres dosis diferentes incluyendo un testigo para un total de diez tratamientos. En el caso de cáscara de cacao como fuente orgánica a una dosis de 13,5 kg/planta se logró obtener un contenido de Cd en almendras de 0,533 ppm valor cercano al límite permitido para la exportación.

Huauya-Rojas y Huamaní-Yupanqui (2014) evaluaron la presencia e influencia del Cd y Pb disponi-

ble del suelo sobre la densidad y diversidad de macrofauna del suelo en el cultivo del cacao bajo manejo orgánico. Se seleccionaron 22 parcelas de agricultores cacaoteros orgánicos localizados en las regiones Huánuco (17) y Ucayali (5). La evaluación de la macrofauna del suelo fue realizada a partir de monolitos de suelo de 25 × 25 × 20 cm de donde se colectaron de manera manual los individuos de macrofauna. El contenido promedio de Cd y Pb disponible en los suelos fueron 0,53 y 3,02 ppm, respectivamente. La densidad promedio de macrofauna fue de 511 ± 374 individuos/m², y predominaron los taxones *Hymenoptera* y *Oligochaeta* con una densidad promedio de 213 ± 258 individuos/m² (41,8 %) y 111 ± 107 individuos/m² (21,8 %), respectivamente. Los autores concluyeron que la densidad de *Isoptera* presentaba una correlación significativa positiva con el contenido de Cd disponible del suelo.

3. Bibliografía

1. **Acosta, A. (2013).** Efecto del sulfato de cadmio en la germinación y el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). Investigación y Amazonía, 3 (1), 20-29.
2. **Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M.E., Zúñiga-Cernades, L.B., Arévalo-Hernández, C.O., Baligar, V., He, Z. (2016).** Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. Ecología Aplicada, 15 (2), 81-89.
3. **Cárdenas, A. (2012).** Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú.
4. **Huamaní-Yupanqui, H. A., Huauya-Rojas, M. A., Mansilla-Minaya, L. G., Florida-Rofner, N., Neira-Trujillo, G. M. (2012).** Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. Acta Agronómica, 61 (4), 339-344.
5. **Huauya-Rojas, M. A., Huamaní-Yupanqui, H. A. (2014).** Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo del cacao *Theobroma cacao* L. (*Malvaceae*). The Biologist, 12 (1), 45-55.



Modernización de la caficultura, una herramienta más para afrontar el cambio climático

Ing. Adolfo Martínez Guillén

1. Introducción

El género *Coffea* comprende alrededor de cien especies distribuidas principalmente en Asia y África tropical; pese a esto, la mayor parte del café del mundo se produce en América Latina, principalmente en Centro y Sudamérica, en países como México, Brasil, Colombia y Perú. Las especies cultivadas son principalmente dos: *Coffea arabica*, nativa de Etiopía, y *Coffea canephora*, conocida como robusta y originaria de la costa atlántica, en la región de Kouilou de la República del Congo y dentro y alrededor de Angola y la región de los Grandes Lagos. También se cultivan, aunque en una escala mucho menor, las especies *C. liberica*, *C. racemosa*, *C. stenophylla* y *C. abeokutae* (Figueroa *et al.*, 2015).

El café es el segundo producto negociado en la Bolsa de New York, superado solo por la industria y derivados del petróleo. Genera alrededor de 160 000 millones de dólares anuales y emplea a más de 25 millones de familias de agricultores en todo el mundo. Cada año se evidencia un incremento de 1,5 al 2 % en su demanda mundial, lo que implica que la oferta no podrá satisfacer la demanda y su precio deberá incrementarse (Organización Internacional del Café, OIC, 2018).

La actividad cafetalera peruana comprende 425 416 ha, el 6 % de su frontera agrícola, y presenta un potencial de crecimiento que ronda los 2 millones de ha. Estas hectáreas se distribuyen en 17 regiones, 67 provincias y 338 distritos, los cuales involucran alrededor de 223 482 familias poseedoras de parcelas que no superan las 5 ha, pero poseen una

condición organizacional distintiva que cubre el 30 % de estas y les permite realizar exportaciones directas hasta en un 20 % (MINAGRI, 2018).

Sin embargo, la actividad cafetalera está siendo afectada por el calentamiento global. Varón y Urrea (2015) indican la necesidad de considerar aspectos de mejoramiento genético de las variedades explotadas comercialmente a nivel mundial, ya que se estima que para un futuro no muy lejano el incremento de la temperatura en 2 °C tendrá múltiples implicaciones que afectarán los macro y microclimas, potenciando las plagas y enfermedades y estrechando el umbral económico de esta actividad, la cual se ha convertido en un “cultivo de carácter social” para millones de personas y familias en el orbe (CICAPE, 2013).

Para poder afrontar este tremendo reto y suplir estas necesidades se tiene que recurrir a la adaptación, mitigación y resiliencia, apoyando el mejoramiento genético, así como la aplicación de diferentes técnicas para la obtención de variedades que soporten situaciones estresantes y que salvaguarden la seguridad alimentaria de una población mundial cada vez mayor y más exigente de los productos que consume (FAO, 2008). Se requiere una alianza entre países productores de café para generar investigaciones que permitan obtener material genético más adaptable a estas nuevas condiciones, pero sin dejar de vista las características organolépticas que encierra esta bebida milenaria. La otra alternativa sería mover los parques cafetaleros a nuevas altitudes, pero sería complicado, ya que dichas áreas por lo general son zonas de amortiguamiento, corredores biológicos y protectoras de las nacientes del río que dan de beber a sus poblaciones en vertiginoso crecimiento: frontera agrícola al límite (FAL) (Várzea, 2013).

Ante esta realidad, el Perú requiere generar y consolidar un Plan Estratégico Nacional en el cual los componentes gubernamental, social y privado deberán trabajar guiados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en la obtención de nuevas variedades y otras alternativas tecnológicas para ser competitivos en cada uno de los eslabones de la cadena agrocafetalera. Del trabajo a realizar se podrá contar con una caja de herramientas que apalanque un programa de transferencia de tecnología y fortalezca las líneas de investigación y adaptación ante el cambio climático y otros aspectos que potencien aún más su caficultura, la cual es muy respetada y goza de un renombre de primer nivel en la caficultura mundial.

2. Nuevas tecnologías para el manejo agronómico del café

Adaptación del cultivo del café al cambio climático

El cambio climático (CC) es una amenaza para la producción de café debido al aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de precipitación proyectados, como lo proponen los estudios realizados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (2007) y Bunn y Lundy (2016), quienes indican que por cada 1 °C que se incrementa la temperatura disminuirán los rendimientos. Así mismo, algunos modelos del CC pronostican que la precipitación anual total en todos los países disminuirá para el año 2050, la temperatura media anual aumentará entre 2 a 3 °C, mientras que la temperatura máxima aumentará entre 2,2 y 2,4 °C. Estos cambios favorecerán la tasa de reproducción, acortarán los periodos de incubación y acelerarán la evolución de los patógenos y plagas (Baca *et al.*, 2014). Diferentes estudios indican también que estos cambios producirían una reducción de las tierras aptas para la producción del grano de café en Latinoamérica entre 73 y 88 % (Fung, 2017).

Por lo tanto, se puede afirmar que la producción de café está siendo afectada de muchas formas en el contexto del CC. Algunos de estos efectos se resumen en la Tabla 1 (tomada de Villareyna *et al.*, 2018). La mayor variabilidad climática ocasionada por el CC tendrá efecto en la definición y planificación de las actividades agrícolas; en otras palabras, será más difícil elaborar una planificación del manejo del cultivo y las prácticas a realizar, ya que las labores deberán ser ajustadas en función de las condiciones del clima imperante y del ciclo fenológico en que se encuentre el cultivo (Villareyna-Acuña *et al.*, 2018).

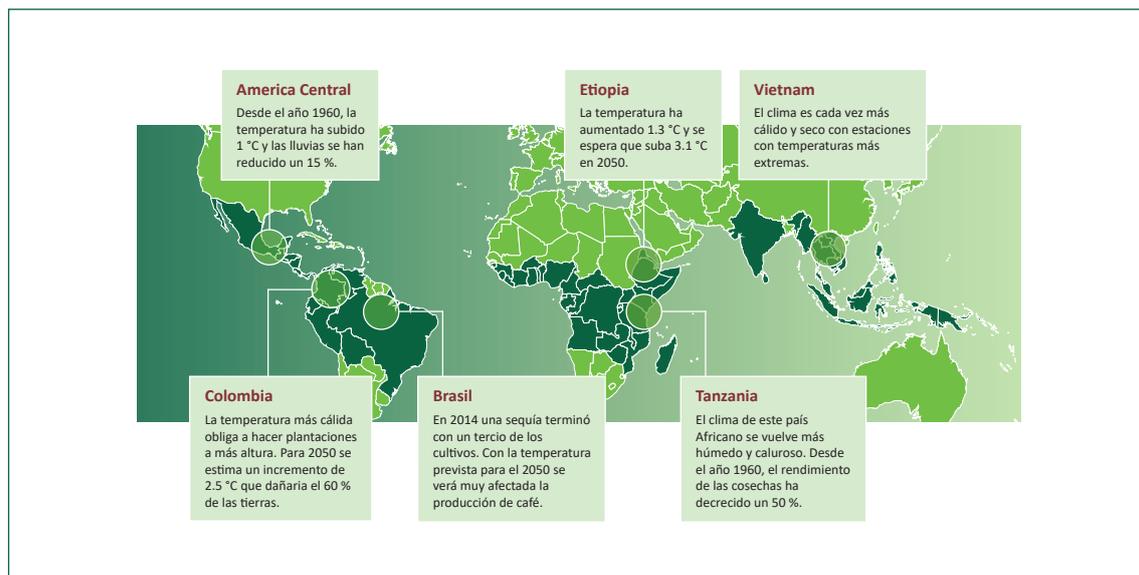
A continuación, se ilustra una proyección de los efectos del cambio climático en algunos países productores de café (Fig. 1).

Ante estos escenarios climáticos cambiantes, es posible asegurar que la actividad cafetalera mundial está fuertemente amenazada y, si no se toman medidas para su adaptación y resiliencia tanto económica, ecológica como social, los países productores de café serán vulnerables (Ávila y González, 2018). Por lo tanto, se requiere de prácticas más ecológicas que incluyan la adaptación (intervenciones agronómicas) tomando en cuenta los ciclos natu-

Tabla 1: Principales efectos del comportamiento de las plagas y enfermedades ante el cambio climático sobre la planta de café

| Cambio climático | Plagas y enfermedades | Planta de café |
|--|--|--|
| Periodo seco | Favorece la aparición de escamas, chapulines, ácaros, etc. Hay menos hongos en la hoja. Si la sequía es muy fuerte, se reducen las poblaciones de abejas, que son importantes para la polinización. | Se reduce la velocidad de crecimiento, las hojas nuevas crecen lentamente, el grano llena más despacio. Si la sequía es muy fuerte, puede afectar la calidad del grano. |
| Exceso de viento (normalmente en el periodo seco) | Si hay viento entre periodos lluviosos, o inclusive con una descarga pequeña pero constante de agua, se favorece la distribución de las esporas de los hongos. | Las plantas se resecan rápidamente y se puede afectar la floración. Aumenta la transpiración porque la hoja se seca rápidamente. Si en el cafetal hay banano, las plantas se dañan seriamente. Es urgente poner barreras rompavientos. |
| Periodo lluvioso | Favorece el desarrollo de hongos del follaje como el ojo de gallo, roya, <i>Phoma</i> , etc. Favorece la aparición de controladores biológicos como <i>Beauveria sp.</i> (controla broca), <i>Lecanicillium sp.</i> (controla roya), <i>Trichoderma sp.</i> (se alimenta de otros hongos y de materia orgánica). | Las lluvias son clave para la floración, pero luego se ocupa un periodo seco para que la flor no se caiga antes de ser polinizada y que inicie la formación del grano. Si el periodo lluvioso no coincide con las necesidades del café, se podría hasta perder la cosecha. Si hay exceso de lluvias durante la cosecha, el grano se cae. No obstante, en general la planta está mejor con agua que sin ella. |

Figura 1: Efectos del cambio climático en los países productores de café (IPCC, 2007)



rales y sus interacciones; la disminución en el uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos para evitar o reducir el deterioro del suelo (erosión y contaminación); el aumento de la biodiversidad en los cultivos; el uso de variedades resistentes y tolerantes a enfermedades y plagas, estrés hídrico; la regionalización del cultivo; el fomento de los sistemas diversificados bajo sombra que incluyan árboles frutales, maderables, etc. (Villareyna *et al.*, 2018). También es imperioso recurrir a la implementación de tecnologías bajas en carbono, como, por ejemplo, la elaboración de bioinsumos, la siembra de árboles en los cafetales, la cobertura del suelo, entre otras.

Actualmente, existe una estrategia probada para aliviar los efectos potencialmente negativos del clima en la producción de café y es la implementación del programa **Nationally Appropriate Mitigation Actions** (Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada, NAMA-café), una herramienta orientada a mitigar el cambio climático. El concepto del NAMA-café se define como una estrategia que requiere inversión de fondos para fomentar inversiones ambientalmente sostenibles en tecnologías y prácticas que reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y que, a su vez, generen una serie de cobeneficios sociales, económicos y

ambientales que favorezcan la adaptación de los sistemas productivos cafetaleros al cambio climático. Así, se mejoraría su competitividad aplicando medidas que contribuyen a la mitigación, como, por ejemplo, el consumo de agua por al menos un 92 % y el consumo de energía mínimo en un 15 % (ICAPE, 2015b).

Los dos pilares en los cuales se basa la estrategia son (1) la seguridad alimentaria y nutricional (producción, productividad y resiliencia) y (2) la implementación de variedades resistentes a la roya a partir del híbrido de Timor (HDT). Esta estrategia también incluye la introducción de árboles de sombra, los cuales mitigan cambios extremos en el clima, a través de modelos de circulación global, que determinan y analizan los cambios en la temperatura y precipitación sobre la producción de café (Laderach *et al.* 2015). Una descripción más completa del programa, así como una lista de tecnologías y buenas prácticas elegibles, se encuentra en la página web del proyecto NAMA-Café, www.namacafe.org.

3. Herramientas biotecnológicas para el mejoramiento genético del café

Los últimos avances en genómica, proteómica, metabolómica, bioinformática, entre otras ciencias **ómicas**, se han convertido en poderosas herramientas para los programas de mejoramiento genético al facilitar la selección de plantas con características deseables para la producción, resistencia y tolerancia a plagas y enfermedades, adaptabilidad a entornos cambiantes y otros aspectos que incluyen cualidades de valor alimenticio, industrial, medicinal y calidad, que pueden ser usadas para dar origen a nuevas variedades (Sun *et al.* 2017).

Las investigaciones en biotecnología y biología molecular del café en la especie robusta (*C. canephora*) se iniciaron en el 2003 en países como Brasil y Francia. Estas han permitido identificar regiones cromosómicas, genes, metabolitos, proteínas y rutas metabólicas, las cuales en conjunto son responsables de procesos como el llenado de los granos de café, reacciones de resistencia y tolerancia a enfermedades e interacción genotipo por ambiente en la calidad de taza (Cenicafé, 2011).

La reciente publicación de la secuencia completa del genoma de *C. canephora* (Denoeud *et al.*, 2014) y el acceso abierto a la secuencia del genoma de

C. arabica (WCR, 2018) permitirán orientar nuevas etapas en el mejoramiento genético del café, reduciendo tiempos y costos para el desarrollo de nuevas variedades que conserven atributos trascendentales para la producción, resistencia, calidad y adaptabilidad.

Igualmente, otras investigaciones han profundizado en la validación de materiales que presentan tolerancia hacia la enfermedad de la roya. Por ejemplo, en Costa Rica la variedad definida como obata (sarchimor) tiene excelentes cualidades agronómicas y organolépticas. Además, se trabaja arduamente en la validación de otras 17 variedades que incluyen los tipos sarchimores y cavimores, que poseen tolerancia y resistencia contra este patógeno (ICAPE, 2013; Ramírez, 2014).

También se han producido plantas híbridas que presentan resistencia incompleta a la roya, obtenidas de un sarchimor por un genotipo silvestre de Etiopía, las mismas que se han propagado a través de embriogénesis somática, cuya nomenclatura es la siguiente: L13A44 (Híbrido Centroamericano) y L12A28 (Híbrido Milenio). Es adecuado mencionar que estos materiales en la región se conocen bajo otros nombres (Quijano, 2007).

Cuanto más amplia sea la diversidad genética de una especie, mayor será su capacidad de resistencia para enfrentar desafíos tales como enfermedades, plagas y cambios climáticos, problemas que sabemos que aumentarán en las próximas décadas. Para que los fitomejoradores de café puedan crear la próxima generación de cafetos con características de resiliencia, es necesario saber qué diversidad genética existe en cada especie y dónde ubicarla (WCR, 2018). Por ejemplo, sabemos que *C. arabica* tiene una diversidad genética limitada, pero no sabemos exactamente qué tan limitada es.

Es posible que existan grandes reservas de diversidad genética en colecciones de germoplasma que puedan ser aprovechadas para aliviar las limitaciones actuales y futuras. Un buen ejemplo es la Colección Internacional de Café del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), la cual es catalogada como la cuarta más relevante a nivel mundial y, según el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación de la FAO (TRFAA), se la definió como dominio público (CATIE, 2018). Esta colección posee alrededor de 1992 introducciones, de las cuales más de 800 genotipos son de tipo silvestre y especies diploides; variedades, mutantes y selecciones con resistencia a la roya del café; híbridos in-

ter e intraespecíficos, y materiales de investigación. Además, presenta una alta diversidad genética del género *Coffea*, dentro de la cual la especie arábica es la de mayor importancia económica, seguida de las especies *canephora* y *liberica* (Jiménez, 2018).

Durante más de 68 años, esta colección ha contribuido con programas de mejoramiento genético de todo el mundo. De los materiales con resistencia a la roya que alberga esta colección destacan las fuentes de germoplasma que permitieron la generación de algunos híbridos F1, los cuales recientemente fueron liberados en América Central. El CATIE ha jugado un papel de liderazgo en la reproducción asexual de estos híbridos, la cual se realiza por embriogénesis somática y microestacas (Jiménez, 2018). La variedad geisha en Panamá es un caso exitoso que manifiesta todo su potencial organoléptico al encontrar un nicho ideal en la localidad panameña de Boquete, lo que ha generado precios récord en subastas electrónicas.

A través del convenio entre el CATIE, el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD) y el Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE), se han desarrollado los híbridos F1 de alto potencial productivo, mayor resistencia y tolerancia a la roya y alta calidad de taza. Esto supera en un 30 % las variedades explotadas comercialmente. Es adecuado indicar que ante su mayor productividad requieren un paquete de fertilización diferenciado (mayor) (Chaves, 2017). Otro componente que ha mejorado la disponibilidad de plantas para ofrecer a los productores es el laboratorio de embriogénesis somática y el Banco de Semillas Forestales del CATIE (Jiménez, 2018).

Si bien se mencionó anteriormente que los programas de mejoramiento deben de poseer una alta diversidad genética (variabilidad), también es importante mencionar que para su establecimiento y funcionamiento se deben incluir los aspectos de selección, estabilidad y multiplicación. A continuación, se describen los avances más recientes en aplicaciones biotecnológicas para la mejora del café, con especial énfasis en genética/genómica, embriogénesis *in vitro*; esto con el fin de ampliar la visión de las últimas innovaciones en el sector comercial de la caficultura, para que este continúe siendo la fuente de ingresos de los productores:

- embriogénesis somática y propagación comercial de híbridos F1 de *Coffea arabica* por miniestaquillas;

- genética clásica, variedades con características deseables de café;
- edición genética (CRISPR/CAS9);
- near infrared spectroscopy (NIR), espectro de infrarrojo cercano;
- implementación de drones, índice de vegetación de diferencia normalizada (índice NDV), *unmanned aerial vehicles* (UAVs) y *remotely piloted aircrafts* (RPA).

• Embriogénesis somática

Se define la embriogénesis somática (ES) como una técnica asexual *in vitro* mediante la cual las células somáticas (células no sexuales), haploides o diploides, se desarrollan en embriones (que se caracterizan por presentar una estructura bipolar) que pasan a través de diferentes estadios morfológicos característicos de la embriogénesis cigótica, pero sin la fusión de gametos (Aguilar, 2008). La importancia de esta técnica radica en que permite la multiplicación de genotipos a gran escala. Facilita el cultivo en medios líquidos y favorece la automatización del sistema de cultivo. Proporciona la base para el mejoramiento genético no convencional; además, permite la crioconservación (conservación a largo plazo) de líneas celulares de interés genético y comercial, lo que facilita el intercambio internacional de germoplasma (Aguilar, 2008).

• Propagación comercial de híbridos F1 de *Coffea arabica* por miniestaquillas

Es una técnica implementada por el Banco de Semillas Forestales del CATIE desde el 2012 para el enraizamiento de híbridos de café como una medida complementaria para la embriogénesis somática (Jiménez, 2018). Para el desarrollo de esta técnica se establecieron jardines clonales en macetas y en camas hidropónicas. Actualmente, en los jardines se tienen alrededor de 18 000 plantas madre que producen 2-3 estaquillas por planta por mes. Los rebrotes se cosechan cada semana y se trasladan al área de propagación en recipientes con agua más el fungicida. Las estaquillas se cortan hasta dejarlas de una longitud de 4-6 cm, procurando que incluyan al menos 2 nudos y recortando las cuatro hojas que lleva la estaquilla para dejar el equivalente a un 1/3 de su lámina foliar (2,5-3 cm²). La poda de las hojas tiene el propósito de buscar un balance entre los efectos negativos de la transpiración y los beneficios de la fotosíntesis.

- **Genética clásica, variedades con características deseables de café**

La **resistencia genética** es una de las estrategias más prometedoras para el control de enfermedades y plagas del café. Sin embargo, estudios epidemiológicos han demostrado que los factores climáticos pueden romper la resistencia genética. Es por esto que se considera de suma importancia conocer el efecto del clima sobre la incidencia y más específicamente sobre las etapas del ciclo de vida de los patógenos y las plagas. Esto sirve para determinar si es necesario reforzar las medidas de control o implementar nuevas estrategias de manejo para evitar un impacto negativo en la producción (Martínez, 2017).

La estrategia de generar nuevas variedades obedece a condiciones limitantes, causadas por la incidencia, enfermedades y plagas, factores abióticos como clima y condiciones de sitio. Limitantes de tipo biótico, como el daño causado por la roya del café, han generado que países de todo el mundo trabajen en mejoramiento genético. Brasil es uno de los países vanguardistas que ha desarrollado muchas líneas de variedades a través de un mejoramiento clásico, empleando como uno de los padres el híbrido de Timor, el cual aporta resistencia contra varias razas de la roya naranja de café (Martínez, 2017).

Igualmente, en Costa Rica se trabaja en la validación de materiales que presentan tolerancia hacia la enfermedad de la roya, entre ellas la variedad definida como obatá (sarchimor), que posee excelentes cualidades agronómicas y organolépticas. También se trabaja en la validación de 17 variedades de los tipos sarchimores y cavimores, que poseen tolerancia y resistencia contra la roya (ICAFE, 2013; Ramírez 2014). Por esta razón, desde que se reportó por primera vez la presencia de la roya en Costa Rica, la infección de la enfermedad se mantuvo a niveles no perjudiciales para los caficultores que implementaron el paquete tecnológico propuesto por el ICAFE para su control (ICAFE, 2013).

En Costa Rica, la raza II de la roya atacó fácilmente materiales arábigos como caturra, catuái y Villa Sarchí por poseer solo el gen SH5; mientras que materiales mejorados como los catimores y sarchimores no fueron atacados debido a que estos cargan combinaciones de genes como el SH5 de los arábigos y el SH6-9 de los robustas, lo cual dificulta la interacción completa con el patógeno y, consecuentemente, su ataque (Várzea, 2013; Escamilla y Díaz, 2014).

Es importante mencionar las investigaciones realizadas en busca del control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*), un insecto del orden *Coleoptera* y de la familia *Curculionidae* (Triplehorn y Johnson, 2005). Esta plaga apareció en el Perú en el año 1965, y generó una alta preocupación, ya que es considerada como la principal plaga del café a nivel mundial (Damon, 2000; Jaramillo *et al.*, 2006). Según Rojas (2014), la broca se define como una especie exótica invasora que ha causado daño en la caficultura y, con ello, pérdidas que pueden superar el 55 % cuando no hay ningún tipo de control sobre la misma. A nivel de campo, para Costa Rica se ha definido el umbral económico (UE) cuando el nivel de daño supera el 2 % de infestación en campo (ICAFE, 2015).

En los últimos años se han estado realizando investigaciones para desarrollar una variedad de café resistente a la broca por medio del mejoramiento convencional. Esta área de trabajo había tenido poco avance por la falta de buenas fuentes de resistencia genética en el género *Coffea*. Sin embargo, Sera *et al.* (2004) reportó que las especies *C. kapaka*, *C. eugenioides* y *Psilanthus bengalensis* son prometedoras debido a que muestran resistencia a esta plaga tanto en laboratorio como en campo.

De forma paralela, se recomienda un manejo integrado tanto de la roya como de la broca, empleando control etológico, cultural y otras prácticas complementarias para así no estar tan dependiente del control químico. Por lo tanto, la aplicación de las tecnologías genómicas en los últimos años son el insumo inicial para responder a los nuevos desafíos de la caficultura ante el cambio climático.

- **Edición genética (CRISPR/CAS9)**

Se define como una técnica revolucionaria muy reciente en el campo de la biotecnología porque, a diferencia de otros métodos, permite “editar” o “corregir” el genoma de cualquier célula con una enorme precisión y eficacia. La técnica actúa como unas “tijeras moleculares” capaces de cortar cualquier secuencia de ADN del genoma de forma específica y permitir la inserción de otros grupos de nucleótidos. Esa capacidad de cortar el ADN es lo que permite modificar su secuencia, y eliminar o insertar nuevo ADN (Mojica *et al.*, 2005; Char *et al.*, 2017).

La sigla CRISPR proviene de Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, en español Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas. Cas9 es el nombre

de una serie de proteínas, principalmente unas nucleasas, que fueron llamadas así por CRISPR *associated system* (es decir, sistema asociado a CRISPR) (Jiang y Doudna, 2017).

El sistema CRISPR/Cas es un mecanismo de defensa empleado por algunas bacterias con el fin de eliminar virus o plásmidos invasivos (Ishino *et al.*, 1987; Mojica *et al.*, 1995; 2000; 2005; Horvath y Barrangou, 2010). Dicho sistema consta de un componente proteico Cas9 con actividad de nucleasa que corta el ADN, y un ARN, conocido como ARN guía, que dirige al anterior dominio catalítico hacia la secuencia de ADN que se quiere editar.

Cuando un virus entra a una bacteria, toma el control de la maquinaria celular y, para ello, interacciona con distintos componentes celulares. No obstante, las bacterias que tienen un sistema de defensa complejo, constituido por una proteína Cas unida al ARN producido a partir de las secuencias CRISPR, pueden inactivar el material genético del virus y, posteriormente, degradarlo (Bhaya *et al.*, 2011; Jinek, 2012; Doudna y Charpentier, 2014). Pero el sistema tiene, adicionalmente, otra bondad. Las proteínas Cas son capaces de coger una pequeña parte del ADN viral, modificarlo e integrarlo dentro del conjunto de secuencias CRISPR. De esa forma, si esa bacteria (o su descendencia) se encuentra con ese mismo virus, inactivará de forma mucho más eficiente al material genético viral. Es, por lo tanto, un verdadero sistema inmune de bacterias.

No fue hasta el año 2012, cuando las investigadoras Doudna, de la Universidad de California en Berkeley, y Charpentier, de Umea, publicaron un artículo en la revista *Science* en el que se demostraba cómo convertir esa maquinaria natural en una herramienta de edición “programable” que servía para cortar cualquier cadena de ADN *in vitro*. Así, se podría programar el sistema para que se dirigiera a una posición específica de un ADN cualquiera (no solo vírico) y lo corte (Doudna y Charpentier, 2014).

El proceso de editar un genoma con CRISPR/Cas9 incluye dos etapas. En la primera etapa, el ARN guía complementario a la región del ADN que se quiere modificar y sintetizado previamente se asocia con la enzima Cas9. Además, gracias a las reglas de complementariedad de nucleótidos, el ARN hibrida con la secuencia de interés presente en el genoma, dirigiendo la endonucleasa Cas9 a cortar el ADN en la región concreta (Doudna y Charpentier, 2014).

En la segunda etapa se activan los mecanismos naturales de reparación del ADN fragmentado. Esta

reparación resulta, en algunos casos, en la aparición de mutaciones de inserción o deleción que, si están localizadas dentro de un gen, pueden dar lugar a la pérdida de producción de la proteína que codifica. Así, una posible aplicación es la de inhabilitar genes. Un segundo mecanismo permite la incorporación de una secuencia concreta exactamente en el sitio original de corte. Para esto, lógicamente, hemos de darle a la célula la secuencia que queremos que se integre en el ADN (Cyranoski, 2016).

En principio, el método tiene dos problemas técnicos que han de ser corregidos (ya se está en ello). El primero viene derivado del hecho de que la especificidad del ARN guía no es total. Es decir, este ARN puede hibridar, juntarse con más de un sitio en el genoma, lo que llevaría a que la enzima Cas9 cortara en un sitio que no nos interese. El segundo punto débil del método se debe a que Cas9 pueda cortar sin que esté presente el ARN guía. Esto se soluciona con enzimas más precisas (Doudna y Charpentier, 2014; Travis, 2015).

• Crispr/Cas9 en la agricultura

Los primeros cultivos editados genéticamente con CRISPR se están acercando. Una nueva variedad de maíz ceroso de DuPont Pioneer llegará al mercado en unos tres años. Y dada la velocidad, facilidad y amplio uso de la edición de genes con CRISPR, varios otros cultivos seguramente le seguirán. En comparación con el mejoramiento convencional y técnicas de ingeniería genética más antiguas, CRISPR es mucho más preciso: una planta editada genéticamente con una característica en especial puede producirse en una generación. Algunos investigadores están usando CRISPR para desarrollar nuevas variedades de maíz, tomate y algodón. Sin embargo, a pesar de las claras ventajas tecnológicas, sus proponentes no saben cómo se regulará o si el consumidor lo aceptará.

La obtención del maíz ceroso de DuPont editado con CRISPR para eliminar o alterar rasgos en las plantas está cambiando el mundo del fitomejoramiento, dicen los científicos. El uso de CRISPR es más rápido, más preciso, más fácil y, en la mayoría de los casos, más barato que las técnicas de mejoramiento tradicional o métodos de ingeniería genética más antiguos. Aunque los científicos pueden usar CRISPR para agregar genes de otras especies a una planta, muchos laboratorios están trabajando para explotar la gran diversidad de genes que existe dentro de una misma especie vegetal. De hecho, la mejora de muchos de los rasgos más valorados en la agricultura no requiere la adición de ADN desde

otras especies (Mao *et al.*, 2013). Los cultivos editados genéticamente tienen el potencial de revivir algunas de las primeras promesas que la ingeniería genética no ha cumplido a cabalidad, como hacer que las plantas sean más productivas, resistentes a la sequía, resistentes a enfermedades, más nutritivas o simplemente con mejor sabor.

En algún momento alrededor del año 2020, una nueva variedad de maíz marcará un enorme salto en cómo los seres humanos diseñan los cultivos agrícolas. Será la primera planta comercializada que haya sido editada genéticamente con la tecnología CRISPR/Cas9. Pero no se sorprenda si el maíz debuta sin mucho bombo. Es un maíz “ceroso” o alto en almidón que no es muy diferente de las variedades ya existentes en el mercado.

DuPont Pioneer espera que los Estados Unidos trate su maíz ceroso editado como un cultivo convencional porque no contiene genes externos a la planta, según Neal Gutterson (2015). De hecho, el rasgo ceroso ya existe en algunas variedades de maíz. Da a los granos un contenido de almidón de más de 97 % de amilopectina en comparación con el 75 % de amilopectina en maíz de alimentación regular. Los científicos de DuPont utilizaron CRISPR para dirigirse y, parcialmente, “silenciar” un gen para una enzima que produce amilosa. Al editar el gen directamente, crearon una versión cerosa del maíz de élite sin reducir el rendimiento o insertar ADN de otra especie.

Los investigadores están estudiando el genoma del algodón, que fue secuenciado en 2015, para encontrar genes que controlan la forma, estructura, longitud y resistencia de las fibras de algodón. “Es una historia de sostenibilidad”, dice Hake (2015). “Cuando empujas la calidad del algodón para arriba, puedes hacer hilos más fuertes, más finos, así que las prendas requieren menos masa total de algodón y son más duraderas”.

El desarrollo de la tecnología CRISPR/Cas ha inaugurado una nueva era para la ingeniería genética en la que se puede editar, corregir y alterar el genoma de cualquier célula de una manera fácil, rápida, barata y altamente precisa.

- **Near infrared spectroscopy (NIRS), espectroscopía del infrarrojo cercano**

Esta técnica correlaciona las propiedades químicas y físicas del grano de café con la luz infrarroja cercana. Se utiliza la región de infrarrojo cercano que

comprende las longitudes de onda de 800 nm a 2500 nm; por lo tanto, cuando la luz incide sobre una muestra, esta absorbe energía a través de los componentes orgánicos, lo que ocasiona que sus enlaces vibren de muchas maneras. El objetivo de la tecnología NIR consiste en diferenciar una variedad de café (caso Costa Rica) por zonas geográficas y caracterizarla con respecto al café importado (café de Centroamérica o de otro origen). A la vez, permite dar resultados cuantitativos de forma más eficiente, tanto de muestras obtenidas de exportaciones como de importaciones.

La técnica NIR muestra diferentes características, entre las que destacan las siguientes:

- requiere poco o ninguna preparación de la muestra;
- análisis no-destructivo;
- no se necesitan productos químicos o reactivos;
- la operación es sencilla;
- los análisis demoran hasta un minuto contemplando varios parámetros;
- es confiable;
- tiene alta precisión.

Esta técnica también ofrece la posibilidad de revelar la información de diversidad genética (recurso genético más importante hacia el futuro) debido a que ha permitido reconocer la diversidad de componentes del grano que se originan por la interacción de la planta con el ambiente (como los lípidos, ácidos clorogénicos, cafeína y otros), que a la vez se comparan con otros datos estadísticos de otros componentes (genético, bioquímico y ambiental) y con el tema de la calidad.

- **Implementación de drones, índice de vegetación de diferencia normalizada (índice NDV), *unmanned aerial vehicles* (UAVs) y *remotely piloted aircrafts* (RPA)**

El uso de esta tecnología tiene como objetivo optimizar la agricultura desde las siguientes líneas: (1) agronómica, ya que se puede diagnosticar con mayor y mejor criterio situaciones específicas en un determinado cultivo; (2) medioambiental, debido a que permite determinar focos de plagas y enfermedades; por lo tanto, se pueden programar aplicaciones dirigidas y no generales, lo que reduce la cantidad de productos en el medio ambiente; (3) económica, por la optimización de los recursos, en

especial de los insumos a usar para controlar un determinado patógeno, plaga o aspecto nutricional, y (4) climatológica, ya que el uso de información climática para manejo agronómico y prevención de enfermedades y plagas en un sistema de producción, bajo el contexto de cambio climático, no puede basarse solo en prácticas culturales y aplicación de insumos (químicos u orgánicos), debe también incluir sistemas de alerta temprana sustentados en información climática para, así, elaborar un plan preventivo.

4. Experiencias de casos exitosos de la agroexportación utilizando las herramientas de mejoramiento genético para café

Es importante destacar que la calidad intrínseca del café no puede mejorarse en el buen beneficiado (aunque sí se pueden eliminar defectos), lo que se hace es preservarla, ya que la misma se obtiene del cafeto. Sin embargo, si se realiza un inadecuado proceso de beneficiado, puede dañar completamente la calidad del grano. El tipo de beneficiado es el factor que determina en mayor grado la calidad de la bebida. Dentro del tipo de beneficiado del café se diferencian dos métodos: el beneficiado húmedo y el beneficiado seco, dentro de los cuales hay diferentes modalidades (Fischersworing y Rokkamp, 2001).

- **Comercialización de microlotes en subastas electrónicas a través de la Taza de Excelencia**

Un lote de café geisha de muy alta calidad, aromático, cultivado a 1950 m, proveniente de la finca Don Cayito de la familia de Luis Ricardo Calderón, ubicada en Copey de Dota, en la región de Los Santos, rompió el récord de precio en la subasta electrónica internacional del concurso de la décima primera edición de la Taza de Excelencia al cerrar con una cotización de USD 30 009 por quintal (46 kg) el 10 de julio del 2018. Esa cotización del grano costarricense superó en mucho el récord anterior de precio que se registraba en esa subasta, el cual había sido obtenido por un café brasileño en el concurso del 2017 con un cierre de USD 13 020 por quintal.

Para poder asimilar el logro, se debe tomar en cuenta que ese mismo día, la cotización del café en la Bolsa de Nueva York, el principal mercado de referencia, cerró a USD 114,80 el quintal. El lote que se cotizó al precio récord era de muy alta especialidad y estaba formado por 13 sacos de 69 kilos cada uno, según los organizadores del concurso de calidad. Los lotes que participaron estaban compuestos por entre 5 y 20 sacos, cada uno también de 69 kilos, ya que este evento no promueve una venta masiva o por alto volumen del grano.

- **Café misha de Perú**

Se caracteriza por ser uno de los cafés más caros y exóticos del mundo. El precio ronda los USD 1 400 por kilo. Se tienen presentaciones de bolsas de 100 gramos molido o en grano, cuyo precio ronda los S/ 120 por bolsa. El café misha es producido por la empresa Highland Coffee en la zona de Chanchamayo Selva Central. Cuando los cerezos del café maduran, su color rojo y pulpa dulce atraen muchos animales, entre ellos el mishasho o coatí (*Nasua nasua*), que es el encargado de procesar y consumir solo los mejores cerezos de café. Los granos pasan a través de su sistema digestivo y, debido a que el animal no puede digerir el cerezo entero, estos son eliminados en su excremento. Posteriormente, a través de un cuidadoso proceso, los granos son lavados y secados en bandejas de acero dentro de un deshidratador solar, luego son pelados para remover la segunda cáscara. De esta manera, el café está listo para el tostado (Highland, 2018).

Es importante mencionar que cuando los granos de café están en el sistema digestivo del coatí, el ácido gástrico proteolítico filtra al núcleo del grano, y el café tiene contacto con péptidos y aminoácidos, de lo cual resulta un café menos amargo y con un aroma intenso que perdura en el paladar y la lengua. El animal no solo se alimenta de café, sino de varios tipos de fruta y vegetales. Estos aromas impregnan al núcleo del grano, y lo convierten, así, en el café más delicioso del mundo.

- **El gran premio de innovar en la caficultura, apertura de nuevos mercados *mushroom coffee***

Una empresa finlandesa llamada Four Sigmatic desarrolló una mezcla de café en polvo con hongos disecados que se caracteriza por sus beneficios nutricionales. El nuevo café saludable, que causa furor en Estados Unidos, suena desagradable, pero los millones de personas que lo consumen no piensan lo

mismo. Se trata del “café de hongos” o “mushroom coffee”, el cual es un hongo-micorriza asociado a una especie forestal de “pinos” endémicos del Japón. El precio de este hongo basidiomiceto llega a valer hasta USD 2 000 por kg. Estudios taxonómicos han determinado que la misma especie está registrada en el continente europeo asociado a otra especie de pinos, y el valor de esta es de USD 90 por kg de hongo en el mercado japonés, quienes lo importan cuando existe déficit de este (Bergius y Danell, 2000).

La empresa al comienzo solo ofrecía café en polvo para mezclar con agua caliente (instantáneos o saquitos), pero pronto ampliaron el porfolio y empezaron a vender miles de hongos para agregar a bebidas como batidos, cafés o simplemente agua. Sus creadores aseguran que estas bebidas mejoran el rendimiento físico e intelectual sin los efectos contraproducentes que genera el exceso de cafeína. La empresa también ha desarrollado mezclas para otros fines tales como dormir bien, prevenir el envejecimiento prematuro, favorecer la producción de ácido hialurónico, etc.

- **Trazabilidad y sostenibilidad del café (modelo costarricense en desarrollo)**

El modelo que se está implementando en Costa Rica y que se describe a continuación podría perfectamente ser desarrollado en la caficultura peruana. El mismo consiste en el desarrollo de plataformas tecnológicas (código QR, realidad aumentada) con las que se indica y se hace una total apertura a que cualquier consumidor pueda ver la trazabilidad de un producto que se desee consumir, llegando a saber hasta las manos que lo produjeron y bajo las condiciones de sitio, información que estará anexa a la dirección que un código QR o de realidad aumentada. Estos códigos lo dirigirán a través de una aplicación insertada en los teléfonos inteligentes, tabletas electrónicas y computadoras. Así, el comprador o el consumidor final tendrá instantáneamente información muy detallada como la “biografía” del producto que tiene frente a sí. La iniciativa quiere que el comprador y consumidor conozcan al productor y sus prácticas de primera mano, sin intermediarios. La idea en concreto es acercar ambos extremos de la agrocadena del café y que, así, el consumidor pueda ver de qué comunidad vino su café, cuáles son los índices de pobreza de esa comunidad, cuáles son sus problemáticas, los corredores biológicos que tiene cercanos, cuál es la huella ecológica de ese café, o que incluso pueda asegurarse de que se le paga un precio justo al productor.

El proyecto fue implementado como complemento a las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA, por sus siglas en inglés). Las NAMAs son un mecanismo de financiación nacido del Protocolo de Kioto, instrumento que forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (ICAFE, 2018).

5. Propuesta de nuevos temas de investigación y transferencia de tecnología

- **Obtener y ofrecer semillas puras y certificadas**

Es fundamental contar con un banco de germoplasma, ya que ante los distintos cambios que sufre cualquier organismo por el clima y su medio circundante se genera presión y, posiblemente, este organismo será sometido a estrés, lo que afecta significativamente su condición en cuanto a productividad y sanidad. La idea de poder tener individuos aptos y con ciertas bondades faculta a la caficultura local y regional a afrontar estos desafíos. Es de primer orden que la caficultura peruana cuente con este recurso, el mismo que debe ser dirigido por una institución que fomente y asegure a sus productores las semillas previamente validadas y liberadas oficialmente por el INIA, apoyado por otras instituciones del estado y la empresa privada.

Además de evaluar los requerimientos nutricionales, recordemos que no toda variedad es apta para todo productor. Los menos tecnificados y de recursos más limitados requieren contar con variedades más rústicas y menos exigentes en cuanto a nutrición. Se debería gestionar la participación de Perú en el trabajo que desarrolla World Coffee Research (WCR) y, por ende, obtener el apoyo de esta organización para ampliar su acervo genético con materiales que en cada uno de los países miembros han aportado para diversificar y evaluar estos materiales en otras latitudes.

- **Órgano regulador sobre la validación de variedades**

Es vital contar con un órgano regulador que defina el accionar a seguir en la toma de datos en aspectos agronómicos de las variedades introducidas para

valorar su potencial en los sitios donde se establecerán las parcelas de seguimiento; además, debe contar con un único formato de diseño estadístico y de evaluación a fin de obtener homogeneidad en los parámetros evaluados y realizar comparaciones de carácter estadístico-científico que permitirán definir los materiales más aptos para cada región. Pruebas de validación *in situ* de variedades de otras regionales cafetaleras es factible para no iniciar de cero en las investigaciones.

- **Establecimiento de un laboratorio de barismo, catación**

En la caficultura moderna se considera cada uno de los eslabones de esta actividad; por ello, es fundamental la producción de café en campo. Sin embargo, se ha desarrollado muy poca investigación sobre poscosecha. Se plantea la necesidad de generar este componente cultural que afine todo el espectro organoléptico. En la estación de Pichanaki, INIA tiene el potencial para este fin, ya que la misma cuenta con la infraestructura para establecer un laboratorio de barismo y catación, e incorporar un equipo NIR. Esto sería encaminarse científicamente a la obtención de la huella del café peruano y, así, generar un plus mayor en su comercialización y salvaguardar la identidad del grano de oro peruano.

- **Uso de NIR para conocer la huella genética del café peruano**

Un módulo NIR aportaría una base de datos para definir los distintos cafés producidos en las regiones peruanas, además de resguardar la identidad de este valioso y único café del mundo. Esto permitiría poder gestionar y lograr diferenciales en sus cafés agregando pluses que directamente se traducirían en mayores ingresos a los productores dedicados al cultivo.

- **Fertilidad del suelo basada en análisis y recomendación técnica**

Uno de los componentes agronómicos que es fundamental conocer es la fertilidad del suelo y la asistencia de la planta de café para optimizar su producción, sanidad y otros aspectos fundamentales. Se sugiere canalizar muestras de suelo de productores para poder brindar este servicio y que el productor tenga la certeza de qué, cuándo y cómo efectuar una fertilización, de manera que optimice sus recursos y apunte a una mayor producción.

- **Trazados y curvas a nivel**

Otro aspecto que se debe mejorar es el uso de curvas a nivel, ya que los trazados a favor de pendiente no amortiguan los procesos de erosión y afectan esa delgada capa no superior a los 15 cm cuyo horizonte ha encargado de aportar la nutrición a la planta de café y que es fácilmente perdible. Ante un parque cafetalero agotado y ante un necesario y agresivo plan de renovación de la caficultura peruana, se debe incorporar este concepto en el establecimiento de áreas nuevas de café.

Los sistemas agroforestales plantados con café poseen una nutrición compleja, la cual es importante de entender con el fin de obtener una respuesta favorable de la planta a la aplicación de fertilizantes orgánicos o sintéticos. En este contexto, amerita el entendimiento sobre el uso y la recomendación de la fertilización y la estrecha relación que esta tiene con la edad del cultivo, potencial productivo del material genético, densidad de siembra, manejo de la plantación, sombra y otros factores que inciden directamente sobre la productividad.

6. Conclusiones y recomendaciones

El Perú, al ser miembro de PROMECAFE, puede solicitar intercambio de material genético a través de la WCR debido a que este posee un programa en el cual cada país miembro selecciona los mejores materiales para ser intercambiados y validados bajo otras condiciones agroclimáticas.

Además, al ser la Colección Internacional de Café del CATIE de dominio público y cumpliendo con la normativa del TRFAA, el gobierno peruano, a través del INIA, puede solicitar acceso a los materiales que considere pertinentes de validar bajo sus condiciones. Solo se necesitaría formalizar y seguir una serie de requisitos cuando se hace una solicitud o petición ante CATIE, que incluye la transferencia de Acuerdo de Transferencia de Material (ATM) de geroplasma.

Para el control de la roya es necesario conocer qué razas de este hongo se encuentran en la caficultura peruana a fin de orientar la investigación hacia variedades que presenten una resistencia horizontal. Por ello, se sugiere establecer relaciones con el CIFC de Portugal, para que en un convenio de carácter investigativo se pueda formalizar la caracterización

de las razas de roya presentes en Perú y, así, poder promover la investigación y el desarrollo de estrategias de mejoramiento. Según las ponencias de los investigadores destacados en las distintas regiones cafetaleras de Perú, actualmente se trabaja con un grupo reducido de variedades de café (limaní, Gran Colombia, catimor, catuai y caturra rojo). Es necesario, pues, aumentar este acervo génico con el objetivo de robustecer y tener al final del proceso una mayor gama de opciones para ofrecer al sector productor. Por lo tanto, es fundamental ampliar la diversidad genética basada en la investigación orientada hacia el desarrollo de nuevas variedades.

Para el control de la broca se recomienda llevar registro de las mejores floraciones y, a los 60 y 90 días después de esta(s), programar aplicaciones con algún producto (biológico o sintético) para controlar el insecto y limitar la colonización de nuevos granos. También se sugiere considerar el inicio de las primeras lluvias, ya que este es el activador del reloj biológico que indica al insecto su proceso de reinfestación. Para el control etológico de la broca del café, se indicó el uso de difusor (componente de metanol etanol 3:1) a fin de que sirva como atrayente en las trampas, las cuales juegan un rol de monitor para ver la evolución de la plaga dentro del cafetal y, así, ajustar el tiempo óptimo para realizar los controles.

Se requiere robustecer un programa de transferencia de tecnología a fin de que el productor adapte las nuevas técnicas en sus cafetales, lo que se traducirá en el aumento de sus ingresos económicos.

En cuanto a las instalaciones del INIA de Pichanaki y en el recorrido por estas, se recomienda lo siguiente: colocar la unidad climatológica DAVIS Vantage PRO2 en otro lugar sobre el suelo y aislada con una bóveda. En su ubicación actual, el calor acumulado en las láminas de zinc arroja valores erróneos de temperatura ambiente al equipo. Además, la humedad del área circundando los sensores no es registrada por la evapotranspiración ni, posiblemente, por otros parámetros registrales. En cuanto a los invernaderos con plantones de café, cacao y frutales, que evidenciaron enfermedades de follaje, tanto patológicas como de carácter nutricional, estos requieren un mejor manejo agronómico para obtener mejores productos y, además, preservar los servicios que el INIA proporciona a la comunidad agrícola.

7. Bibliografía

1. **Aguilar, M. E. (2008).** Embriogénesis somática en plátanos y bananos: perspectivas y limitaciones. Serie técnica. Boletín técnico. N.º 27. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
2. **Ávila, F. B. y González, G. E. J. (2018).** Sociedades resilientes: Criterios para estrategias educativas encaminadas a la reducción de riesgo de desastres. *Revista Interamericana de Educación de Adultos*, 37 (2), 26-46. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457544924003>
3. **Baca, M., Läderach, P., Hagggar, J., Schroth, G. y Ovalle O. (2014).** An Integrated Framework for Assessing Vulnerability to Climate Change and Developing Adaptation Strategies for Coffee Growing Families in Mesoamerica. *PLoS ONE*, 9 (2), e88463.
4. **Bergius, N. y Danell, E. (2000).** The Swedish Matsutake (*Tricholoma nauseosum* syn. *T. matsutake*): distribution, abundance and ecology. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15, 318-325.
5. **Bhaya, D., Davison, M. y Barrangou, R. (2011).** CRISPR-Cas Systems in Bacteria and Archaea: Versatile Small RNAs for Adaptive Defense and Regulation. *Annual Review of Genetics*, 45, 273-297.
6. **Bunn, C. y Lundy, M. (2016).** Impacto del cambio climático en las cadenas productivas del café y el cacao. Trabajo presentado en ExpoCafé 2016. Octubre 22, Lima, Perú.
7. **CATIE. (2018).** Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Colección Internacional de Café. El CATIE. Recuperado de www.catie.ac.cr/productos-y-servicios/colecciones-bancos-de-germoplasmas/coleccion-internacional-de-cafe.html
8. **Char, S. N., Neelakandan, K. A., Nahampun, H., Frame, B., Main, M., Spalding, M., Becraft, W. P., Meyers, B. C., Walbot, V., Wang, K., y Yang, B. (2017).** An Agrobacterium-delivered CRISPR/Cas9 System for High-frequency Targeted Mutagenesis in Maize. *Plant Biotechnology Journal*, 15 (2), 257-268. doi: 10.1111/pbi.12611.

9. **Chaves, A.V. (2017).** Potencial productivo de 17 híbridos. (Entrevista telefónica). San José, Costa Rica, Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), Centro de Investigaciones en Café (CICAPE), Unidad de Investigaciones Programa de Nutrición Mineral.
10. **Cenicafé. (2011).** Factores de producción que influyen en la respuesta de genotipos de *Coffea arabica* L. bajo diversas condiciones ambientales de Colombia. *Revista Cenicafé*, 66 (2), 30-57. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/3.Factores.pdf>
11. **CICAPE. (2013).** *Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berk et Br.)*. Barquero Miranda. 3a ed. San José, Costa Rica.
12. **Cyranoski, D. (2016).** CRISPR gene-editing tested in a person for the first time. *Nature*, 539, 479.
13. **Damon, A. (2000).** A review of the biology and control of the berry borer, *Hypothenemus hampei (Coleoptera: Scolytidae)*. *Bulletin of Entomological Research*, 90, 453- 465.
14. **Denoeud, F., Carretero-Paulet, L. et al. (2014).** The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis. *Science*, 345 (6201), 1181-1184.
15. **Doudna, J.A. y Charpentier, E. (2014).** The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, 346 (6213), 1258096.
16. **Escamilla, P.E. y Díaz, C.S. 2014.** Panorama general de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en Centroamérica y México. Recuperado de http://amecafe.org.mx/pg/archivos/REUNION_SPC_ENE2015/panorama_general_de_la_roya_del_cafeto_en_centroamerica_y_mexico.pdf
17. **FAO. 2008.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Principales productores de café a nivel mundial. Informe estadístico. Recuperado de <http://www.faostat/estadistica>.
18. **Figuroa, E., Pérez, F. y Godínez, L. (2015).** *La producción y el consumo del café*. ECORFAN- Spain.
19. **Fischersworing, B. y Roskamp, R. (2001).** *Guía para la caficultura ecológica*. 3a ed. Lima, Perú.
20. **Fung., E. (2017).** Áreas de producción de café en América Latina son amenazadas por el cambio climático. Recuperado de bit.ly/2LCvpbt
21. **Highland. 2018.** Café Misha the rarest and most expensive drink in the world. Recuperado de <http://highlandproducts.com.pe/cafe-misha.php>
22. **Horvath, P. y Barrangou, R. (2010).** CRISPR/Cas, the Immune System of Bacteria and Archaea. *Science*, 327: 67-170.
23. **ICAFE. (1998).** *Manual de recomendaciones para el cultivo del café*. 6a ed. San José: ICAFE, 127-137.
24. **ICAFE. (2013).** Recomendaciones para la aplicación de fungicidas para el combate de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.). Barquero Miranda. 3a ed. San José, Costa Rica. 63 p.
25. **ICAFE. (2015).** Costos de la actividad cafetalera, costos unitarios de insumos. Recuperado de <http://www.icafe.cr/sector-cafetalero/informacion-de-mercado/costo-de-la-actividad-cafetalera/>
26. **ICAFE. (2015b).** Avanza a paso firme el Nama Café de Costa Rica. Recuperado de <http://www.icafe.cr/avanza-a-paso-firme-el-nama-cafe-de-costa-rica/>
27. **ICAFE. (2018).** ICAFE realizó con gran éxito VI Simposio Nacional de Caficultura. Recuperado de <http://www.icafe.cr/icafe-realizo-con-gran-exito-vi-simposio-nacional-de-caficultura/>
28. **IPCC. (2007).** Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Synthesis report. Recuperado de bit.ly/2KRmbrY
29. **Ishino, Y., Shinagawa, H., Makino, K., Amemura, M. y Nakata, A. (1987).** Nucleotide Sequence of the *lap* Gene, Responsible for Alkaline Phosphatase Isozyme Conversion in *Escherichia coli*, and Identification of the Gene Product. *Journal of Bacteriology*, 169 (12), 5429-5433.
30. **Jaramillo, J., Borgemeister, C. y Baker., P. (2006).** Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae)*: Searching for Sustainable Control Strategies. *Bulletin of Entomological Research*, 96, 1-12.

31. Jínek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J.A. y Charpentier, E. (2012). A Programmable Dual-RNA-guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science*, 337 (6096): 816-21.
32. Jimenéz, L. D. (2018). Producción de Híbridos de Café *Coffea arabica* F1 Turrialba (entrevista telefónica) Turrialba, CR, (ICAFE), Instituto del Café de Costa Rica.
33. Laderach, P., Lundy, M., Jarvis, A., Ramirez-Villegas, J., Perez, P. E., Schepp, K., y Eitzinger, A. (2015). *Predicted Impact of Climate Change on Coffee Supply Chains. The Economic Social, and Political Elements of Climate Change*. Berlin: Springer Verlag.
34. Mao, Y. F., Zhang, H., Xu, N. F., Zhang, B. T., Gou, F. y Zhu, J. K. (2013). Application of the CRISPR-Cas System for Efficient Genome Engineering in Plants. *Molecular Plant*, 6: 2008-2011.
35. Martínez, G. A. (2017) Evaluación de fungicidas químicos de acción sistémica para el control de Roya (*Hemileia vastatrix Berk et Br.*) en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.), en el distrito de Tuis, Turrialba (Tesis de Ingeniero Agrónomo). Universidad de Costa Rica, Turrialba.
36. MINAGRI. (2018). Principales áreas productoras de café. Recuperado de <http://www.minagri.gob.pe/portal/192exportaciones/introduccion/677-formas-de-exportacion>
37. Mojica, F.J., Ferrer, C., Juez, G. y Rodríguez-Vallera, F. (1995). Long Stretches of Short Tandem Repeats are Present in the Largest Replicons of the Archaea *Haloferax mediterranei* and *Haloferax volcanii* and could be Involved in Replicon Partitioning. *Mol Microbiol*, 17 (1), 85-93.
38. Mojica, F.J., Díez-Villaseñor, C., García-Martínez, J., Soria, E. (2005). Intervening Sequences of Regularly Spaced Prokaryotic Repeats Derive from Foreign Genetic Elements. *Journal of Molecular Evolution*, 60 (2), 174-182.
39. Mojica, F. J., Díez-Villaseñor, C., Soria, E. y Juez, G. (2000). Biological Significance of a Family of Regularly Spaced Repeats in the Genomes of Archaea, Bacteria and Mitochondri. *Mol Microbiol*, 36 (1), 244-246.
40. OIC. (2018). Igualdad de género en el sector cafetalero. Recuperado de <http://bit.ly/2JeEieP>
41. Quijano, J. M. (2007). Validación de nuevos híbridos F1 de *Coffea arabica* introducidos de PROMECAE/CATIE a PROCAFE. Informe PROCAFE, El Salvador.
42. Ramírez, J. E. (2014). Comportamiento de nuevas variedades resistentes a Roya en Costa Rica. Memorias, IV Simposio Nacional de Caficultura. Centro de Investigaciones en Café (CICAFE), Heredia, Costa Rica.
43. Rojas, B. M. (2014). Manejo Integrado de la broca del café en Costa Rica. San José: Instituto del Café de Costa Rica.
44. Sera, T., Sera, G. H., Ito, D. S., Cotarelli, C. M. y Doi, M. S. (2004). Desarrollo de cultivares de café resistentes a broca-do-café. En Workshop Internacional sobre o Manejo da Broca-do-Café. 28 de noviembre a 2 de diciembre de 2004. Londrina, Paraná, Brasil.
45. Sun, L., Chen, J., Xiao, K., y Yang, W. 2017. Origin of the Domesticated Horticultural Species and Molecular Bases of Fruit Shape and Size Changes during the Domestication, Taking Tomato as an Example. *Horticultural. Plant Journal*, 3 (3): 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.007>
46. Triplehorn, C. A. y Johnson., N. F. (2005). *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. 7a ed. Thomson. Belmont, CA: Brooks/Cole.
47. Varón, A., Urrea, J. L. (2015). Nuevo estudio sobre café: un llamado de atención a los productores Latinoamericanos. Recuperado de <http://bit.ly/2XawU2t>
48. Várzea, V. M. P. (2013). Avances del conocimiento sobre las razas de roya del Cafeto, con énfasis en la caficultura de Latinoamérica. Proyecto CATIE-CIRAD-PROMECAFÉ/NORUEGA (8-10 out, CATIE, Costa Rica).
49. Villareyna, R., De Melo, E., Florián, E., Soto, G., Astorga, C. (2018). Acciones para fortalecer la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector cafetalero de Costa Rica. Manual técnico para reducir la vulnerabilidad de fincas cafetaleras frente al cambio climático. PRCC (Programa Regional de Cambio Climático), PROCAGICA (Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café), USAID (United States Agency International Develop-

ment), UE (Unión Europea), CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). Turrialba, Costa Rica.

- 50. WCR. (2016).** Las variedades de café de Mesoamérica y el Caribe por World Coffee Research bajo licencia Creative Commons Attribution-NonComercial-NoDerivativas 4.0 International License. College Station, TX. Recu-

perado de www.varieties.worldcoffeeresearch.org

- 51. WCR. (2018).** First fully open-access *Coffea arabica* genome sequence released. Partnership led by illycaffè and Lavazza fully release today new genome sequence for coffee. Recuperado de <https://worldcoffeeresearch.org/news/first-fully-open-access-coffea-arabica-genome-sequence-released/>



Estado situacional de las tecnologías y experiencias para el programa nacional de hortalizas y frutales del instituto nacional de innovación agraria

Dra. Constanza Jana Ayala

1. Introducción

El presente informe tiene por objeto entregar información actualizada sobre las tendencias de la demanda, consumos, mercados y nuevas herramientas tecnológicas para el mejoramiento genético y manejo agronómico de los principales cultivos hortofrutícolas en el mundo, dentro del Plan Estratégico Institucional 2016-2018 del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Perú, que tiene como misión fortalecer su posicionamiento para elevar la productividad del sector agrario. Esta información se entregó en el evento de intercambio científico **Avances, Priorización y Mejora de Propuestas de Investigación en el Cultivo de Frutales y Hortalizas** realizado en la ciudad de Huaral, en la Estación Experimental Donoso de INIA, entre los días 23 y 25 de julio del 2018.

La metodología de trabajo consistió en la preparación de tres charlas para los investigadores que participaron en el taller y luego la ronda de presentaciones de las diferentes líneas de investigación que se ejecutan en el INIA. Con la información obtenida del análisis del taller y la información recogida de la conversación con varios investigadores y directivos, se realizaron una serie de recomendaciones en torno a las investigaciones con el objeto de que puedan mejorar el accionar del Programa Nacional de Hortalizas y Frutales.

2. Nuevas tecnologías de manejo agronómico en los cultivos de agroexportación en hortalizas y frutales: hacia la ruta de la alimentación saludable y el cambio en el paradigma del estado del arte de la alimentación mundial

Según cifras de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), al 2016 hay 155 millones de niños menores de 5 años que sufren desnutrición y un total de 855 millones de personas en estado de desnutrición. También ha habido un aumento de la obesidad de 5 a 7 % en el mundo desde 1975 al 2014 (FAO). Varios países parten de condiciones sumamente adversas: un bajo consumo medio de alimentos a nivel nacional, una elevada incidencia de desnutrición y un alto crecimiento demográfico previsto. Por ejemplo, nueve países en desarrollo tenían en 1990-92 una proporción de personas desnutridas superior al 50 % (Afganistán, Angola, Burundi, Eritrea, Etiopía, Haití, Mozambique, República Democrática del Congo y Somalia). En estos países se esperaba que la proporción de personas desnutridas disminuya al 39 % en 2015 y al 25 % en 2030. Sin embargo, debido a la tasa de crecimiento relativamente alta de la población de este grupo, el número absoluto correspondiente aumentará hasta 115 millones en 2015 y puede alcanzar todavía la cifra de 106 millones en 2030 a pesar de que estas cifras están basadas en previsiones de crecimientos del consumo de alimentos que son mucho más rápidos que los mayores experimentados en cualquier período comparable del pasado.

En el futuro, aumentará el umbral para definir la desnutrición, ya que el envejecimiento reduce la proporción de niños en la población. Puesto que las necesidades calóricas de los niños son inferiores a las de los adultos, las necesidades medias calóricas en los países en desarrollo habrán aumentado del orden del 3 % para 2030. De no producirse este aumento del umbral, el número de personas desnutridas para 2030 sería de 370 millones en lugar de 440 millones. Con todo ello, las metas de la ONU

para el año 2030 son poner fin a todas las formas de desnutrición, duplicar la productividad agrícola y asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos³.

• Tendencias hoy

Por otro lado, las cardiopatías y otras enfermedades crónicas no transmisibles están dentro de las principales causas de muerte. Un estudio llevado a cabo por investigadores de la Universidad Tufts en Boston indicó que el consumo subóptimo de alimentos fue responsable de cerca de la mitad de todas las muertes ocasionadas por las enfermedades coronarias, los ictus y la diabetes tipo 2 en Estados Unidos en el año 2012. Estamos en una “transición epidemiológica”, ya que nuestras causas de enfermedad y de mortalidad comienzan a ser diferentes de aquellas que nos aquejaban hace treinta o cincuenta años atrás y aparecen las enfermedades del aparato circulatorio, neoplásicas, diabetes y la obesidad o la “enfermedad de la opulencia”, o enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT).

La principal función de la alimentación es aportar los nutrientes necesarios para satisfacer las necesidades metabólicas y funcionales de las personas. A través de los macronutrientes (carbohidratos, lípidos y proteínas) y de los micronutrientes (vitaminas y minerales esenciales), además del agua, consumidos en forma equilibrada y de acuerdo a los requerimientos de cada edad y sexo, obtenemos todo lo necesario para “vivir bien” desde el punto de vista nutricional. Sin embargo, nuestra mayor expectativa de vida nos lleva, además, a preocuparnos más allá de nuestra adecuada nutrición. También queremos “ganar” salud y bienestar, esto es, “calidad de vida”. Es en este nuevo espacio donde los alimentos funcionales (AF) y los nutraceuticos (NT) ganan cada vez más adeptos y participación en el mercado de los alimentos. Los AF y NT no son conceptualmente lo mismo, por lo cual estableceremos las principales características de cada uno de ellos. El concepto de AF nació en Japón. En los años 80, las autoridades sanitarias japonesas se dieron cuenta de que, para controlar los crecientes gastos en salud pública, generados por la mayor expectativa de vida de la población mayor, era necesario proporcionar también una mejor calidad de vida a esta población, muy respetada según los códigos sociales de la población oriental. Se introdujo, así, un nuevo concepto de alimentos, los que se desarrollaron específicamente para mejorar la salud y para reducir el riesgo de contraer enfermedades en este

³ De acuerdo al objetivo 2, en el marco de los 17 objetivos a debate para elaborar la nueva agenda de desarrollo hacia el 2030.

segmento de la población. Nacieron de esta forma los FOSHU, abreviatura del inglés *food for specified health uses*. Los FOSHU se caracterizan por tener efectos benéficos específicos en la salud del consumidor como resultado de sus ingredientes (prebióticos, probióticos, antioxidantes, ácidos grasos omega-3, ácido fólico, fitoesteroles, fitoestrógenos, entre otros) o porque se le han removido aquellos componentes del alimento que pueden tener un efecto perjudicial en la salud, como, por ejemplo, la remoción de componentes alérgenos, irritantes, hipercalóricos, entre otros. Los productos aprobados como FOSHU, que actualmente en Japón son más de 600, corresponden a alimentos procesados y no a cápsulas, comprimidos, pastillas, grajeas u otras formas farmacéuticas. Entonces, nace el concepto de ALIMENTOS FUNCIONALES. El Consejo de Alimentación y Nutrición de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos define los AF como “alimentos modificados o que contienen ingredientes que demuestren acciones que incrementan el bienestar del individuo o que disminuyen los riesgos de enfermedades, más allá de la función tradicional de los ingredientes que contienen (1999)”; también han sido definidos por el International Life Sciences Institute (ILSI) como “alimentos que, en virtud de la presencia de componentes fisiológicamente activos, proveen beneficios para la salud más allá de la acción clásica de los nutrientes que contienen (1999)”. Por otro lado, el Centro de Información Internacional de Alimentos (IFIC) de la Unión Europea los define como “aquellos productos a los cuales intencionalmente y en forma controlada se les adiciona un compuesto específico para incrementar sus propiedades saludables” y define como **alimentos saludables** a “aquellos que en su estado natural, o con mínimo procesamiento, tienen compuestos con propiedades beneficiosas para la salud”.

Es así como las tendencias han ido evolucionando en lo que significa nuestra alimentación y el desarrollo de los alimentos. Desde el concepto más básico de saciar el hambre hasta hoy día, donde los requerimientos de alimentación y la conservación de la salud están muy estrechamente relacionados.

Lo más relevante de las cadenas alimentarias actuales es que han incorporado un nuevo eje de desarrollo centrado principalmente en el consumidor y que toma en consideración las transformaciones y los efectos que tienen los alimentos, nutrientes y sustancias bioactivas en el cuerpo humano y su efecto en la salud y el bienestar. Las cadenas alimentarias actuales tienen etapas más complejas y deben cumplir con requisitos externos (medioam-

bientales, uso de recursos naturales, etc.) e internos (inocuidad, calidad, presentación) cada vez más exigentes. Desde esta perspectiva, el foco del desarrollo de la industria alimentaria debe, necesariamente, trasladarse hasta el consumidor y a cómo responder a sus motivaciones, emociones, gustos y preocupaciones por una vida saludable. Este empoderamiento del consumidor del siglo XXI ha revertido la señal tradicional de la cadena alimentaria, concebida desde la oferta (de la granja a la mesa), por una concebida desde la demanda (de la mesa a la granja).

• Panorama hortícola en Chile

Las estadísticas entregadas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2018) estiman que la superficie con hortalizas en el año 2017 fue de 70 707 ha, lo que indica un aumento de unas 862 ha (1,2 %) en relación con las 69 845 ha estimadas el año 2016, incremento que se explica por las mejores condiciones climáticas que se presentaron durante la temporada de siembra 2017.

Según las cifras del INE, la región con más superficie de hortalizas en el año 2017 fue la Región Metropolitana con 21 894 ha, lo que significa una disminución de un 4 % (-921 ha) en relación con las 22 815 ha estimadas el año 2016, donde las principales bajas se vieron en arvejas verdes (38 %), orégano (32 %), espinaca y repollo (20 %). Le sigue la Región del Libertador Bernardo O’Higgins con 10 135 ha, con una disminución de un 4,3 % (-458 ha) en comparación con las 10 593 ha estimadas el 2016, donde las principales disminuciones de superficie fueron de alcachofa (88 %), pimienta (33 %), acelga y melón (24 %). La Región del Maule, con 10 042 ha, mostró una disminución de 2,8 % (-285 ha) el año 2017, en relación con las 10 327 ha informadas el año 2016, principalmente por la disminución en superficie de habas (56 %), melón (32 %), choclo (15 %) y alcachofa (14 %). La Región de Coquimbo, con 9 803 ha el 2017, mostró un aumento de 38 % (2 694 ha) en comparación con las 7 109 ha del año 2016, donde las principales especies que aumentaron su superficie fueron el brócoli (404 %), coliflor (188 %), espinaca (168 %), repollo (130 %) y pepino de ensalada (110 %).

El aumento y la disminución de superficie que se observa, por región y por cultivo, obedece al gran dinamismo que ofrece la producción de hortalizas, donde, por lo general, los grandes productores están especializados y producen bajo contrato ciertas especies, y los medianos y pequeños adaptan sus superficies de siembra, año a año, de acuerdo a los

precios de la temporada anterior, a una demanda relativa y a las condiciones que se presenten de clima y suministro de agua de riego. Los cultivos que a nivel nacional presentaron más superficie cultivada en el año 2017, según el INE, fueron el choclo, con 9 541 ha (10 009 ha el 2016), es decir, hubo una disminución de un 4,7 %; la lechuga, con 6 519 ha (6 237 ha el 2016), presentó un aumento de un 4,5 %, y el tomate para consumo fresco, con 5 269 ha (4 936 ha el 2016), un aumento de un 6,8 %.

• Comercio internacional enero-marzo 2018

Según datos del Servicio Nacional de Aduanas, el valor total de las exportaciones de hortalizas frescas durante el período enero-marzo 2018 alcanzó una suma total de USD 19,4 millones, lo que significa una disminución de un 22 % respecto a enero-marzo 2017, periodo en el que se registraron exportaciones por un valor de USD 24,9 millones. Respecto al volumen exportado en enero-marzo 2018, este alcanzó las 14 909 toneladas, lo que significa un aumento de un 9 % en volumen, respecto al mismo periodo del año anterior, en el que se exportaron 13 672 toneladas. Este aumento en volumen, pero baja en el precio total de las exportaciones se debió fundamentalmente a la exportación a México de ajos a un precio menor. Los principales países de destino de las exportaciones de hortalizas frescas, en valor, en el periodo enero-marzo 2018, fueron México, con USD 11,2 millones; Brasil, con USD 3,1 millones, y España, con USD 3,7 millones. Las regiones más importantes en envíos de hortalizas durante el período enero-marzo 2018, en valor, fueron la Región de O'Higgins, con USD 9,3 millones; la Región de Valparaíso, con USD 8,1 millones, y la Región Metropolitana, con USD 1,9 millones. El principal producto de exportación en el período enero-marzo 2018, en valor, fue el ajo, con 8 754 toneladas por un valor de USD 14,7 millones.

En cuanto a las importaciones durante enero-marzo de 2018, ingresaron al país 6 678 toneladas de hortalizas frescas, lo que es un 6,1 % menos comparadas con las 7 112 toneladas importadas durante el periodo enero-marzo 2017. En cuanto al valor de estas importaciones, este fue de USD 2,5 millones (enero-marzo 2018) y de USD 2,4 millones (enero-marzo 2017), lo que significa un aumento en valor de un 5,3 %. El principal producto importado durante este período, en valor, fueron los espárragos, por un total de USD 460 518, lo que corresponde a 110 toneladas provenientes del Perú.

• ¿Qué estamos haciendo desde el punto de vista agrícola?

Hay varios problemas con los que nos encontramos en Chile en la mediana y pequeña agricultura:

- Uso desmedido del recurso agua con gran incidencia de enfermedades y plagas.
- Exceso de uso de fertilizantes sin fiscalización ni restricción.
- Lenta absorción de uso de equipos de protección personal (EPP) y medidas de seguridad.
- Porcentaje elevado del límite máximo de residuos (LMR) en hortalizas, encontrados por las empresas químicas que hacen los análisis y por el INIA. Al respecto, solo en el año 2014, último año del que la FAO dispone de datos del consumo mundial de pesticidas, el consumo mundial se elevó a 3 013 millones de kilos de pesticidas. No obstante, la cifra es superior a este dato, ya que la Federación de Rusia no aporta este dato a la FAO. Sin los datos de Rusia, el país que más pesticidas consume en el mundo es China, con un volumen utilizado en el año 2014 de 1 807 millones de kilos. Argentina ocupa la segunda posición en el ranking mundial con los datos que facilita la FAO, ya que en 2014 utilizó un total de 207,71 millones de kilos. Le sigue, en tercer lugar, México, con 98,81 millones de kilos de pesticidas consumidos en ese año. Chile ocupa el lugar 14, y Perú, el lugar 18. Teniendo en cuenta la superficie cultivable de cada país, el que tiene un mayor consumo por hectárea es Japón, con un consumo medio en 2014 de 11,85 kg/ha, seguido por Corea del Sur, con 11,32 kg/ha, y Taiwán, con 10,78 kg/ha.

1. INIA trabaja en la modalidad de GTT, que son grupos de transferencia tecnológica, donde, a través de aportes del Estado, pero también de los agricultores, se reúnen agricultores de un área para discutir en torno a una temática y se hacen unidades de validación en campos de agricultores líderes. Esta metodología tiene un alto grado de éxito. Lo importante es que ha permitido introducir ciertas prácticas: manejo integrado de plagas, uso de portainjertos en vides, uso de portainjertos en tomates en invernaderos, uso de malla antiáfidos en invernaderos, uso de test para detectar virosis en plántulas, entre otros.
2. Se está desarrollando un programa de manejo integrado de plagas, donde se valida junto con el agricultor programas de aplicación de ellos

versus los que propone INIA, en los cuales puedan ver los controles propuestos *in situ*, con la disminución de costos que esto significa. Se ha logrado disminución de aplicaciones de 10 a 1 a 3 por cultivo, disminución de impacto ambiental de 50 a 1. La idea es desarrollar un producto que el consumidor conozca y exija y que el consumidor sea consciente y entienda la importancia de la reducción de pesticidas para la salud.

3. Se está desarrollando un programa con agricultores en el que estamos tratando de disminuir el volumen de agua utilizado por los diferentes cultivos a través de sensores de humedad de suelo, control con caudalímetros, uso de riego tecnificado. Al igual que en el caso anterior, queremos un sello donde se indique la cantidad de agua del cultivo y que el consumidor consciente elija ese tipo de cultivo. En este mismo punto se está avanzando en el uso de imágenes satelitales para estimar los valores de Kcb reales para el cultivo por localidad dejando de lado el uso de los valores de Kc de FAO 56 que no están dados para las condiciones de nuestros cultivos, con muy buena correlación con las diferentes etapas fenológicas. Esto se está realizando en vides, de manera piloto, pero puede realizarse en todos los cultivos.

Un desafío actual: la preservación de la agrobiodiversidad representa un punto clave para garantizar la adaptabilidad y la resiliencia de los agroecosistemas ante el desafío global que enfrentaremos en el futuro cercano para producir más y mejor comida de manera sostenible. En esa línea estamos trabajando el mejoramiento, que es la segunda charla realizada.

3. Herramientas en el mejoramiento genético de hortalizas y frutales: nuevas tendencias en el mejoramiento genético a nivel mundial

- Técnicas de mejoramiento genético

Clásicos: Dentro de esta categoría se agrupan aquellos métodos que utilizan el cruce de individuos de una misma especie para la posterior selección, dentro de la progenie resultante, de los individuos que presenten las características deseadas. De este

proceso se obtiene un híbrido que posee la información genética de ambos padres por medio de la recombinación al azar del genoma de una y otra planta. El cruzamiento y selección se realiza con el fin de, por un lado, conseguir una variedad vegetal que posea las formas o alelos de los genes que codifican las características deseadas y, por otro lado, eliminar aquellas no deseadas. Así, se realiza sucesivamente hasta obtener una variedad que las presente, o no, de forma estable.

1. Método de selección masal

Este método consiste en cosechar las semillas de aquellos individuos que presenten las características comunes deseadas dentro de una población vegetal para, posteriormente, mezclarlas y sembrarlas en conjunto y, así, obtener una nueva población más homogénea. De esta nueva población, se volverán a seleccionar los mejores individuos para cosechar sus semillas y continuar con un nuevo ciclo de selección. Este tipo de selección es efectivo cuando las características deseadas son fácilmente observables; de lo contrario, es necesario realizar ensayos de descendencia. El cruce de las líneas parentales puede realizarse tanto por polinización abierta normal (sin controlar la presencia de gametos masculinos) como por polinización dirigida (controlando gametos masculinos), dependiendo de si la característica a mejorar es reconocible antes o después de la fecundación de las flores, respectivamente. En ambos casos se debe realizar la eliminación de plantas fuera de tipo antes de la polinización para permitir el cruce solo de las plantas seleccionadas; en el segundo caso, además, es necesario eliminar la presencia de gametos masculinos en las plantas que serán polinizadas con el polen de las plantas que fueron seleccionadas. Este método es utilizado para dos fines: obtener líneas puras de variedades autógamias u obtener líneas puras híbridas (en el caso de la polinización cruzada natural o inducida) (Ramírez, 2006).

2. Método masal modificado o bulk

El método bulk es un procedimiento que permite llevar una población segregante hasta un determinado nivel de homocigosis. La semilla sembrada después de cada generación de autofecundación representa una muestra de la semilla cosechada en bulk la generación anterior. En este método, las semillas cosechadas desde F1 a F4 son mantenidas en bulk sin ninguna selección; la selección es pospuesta hasta generaciones más avanzadas (F5-F8). En estas generaciones la segregación prácticamente no existe.

3. Método pedigree

Seleccionar padres e hibridar: Nuevas combinaciones ocurren en la segunda generación filial (F2). Se busca la selección de los mejores genotipos. Las ventajas de este método son: caracteres útiles presentes en diferentes genotipos pueden ser combinados; nueva variación no presente en los padres; posible segregación transgresiva; registro genealógico muy preciso. Por otro lado, las desventajas son que demanda mucho tiempo, es más costoso y ocupa más terreno.

4. Retrocruce (backcross)

Es una estrategia de mejoramiento comúnmente usada para introgresar uno o pocos genes en un germoplasma o genotipo élite RC; implica el cruzamiento entre un padre donante y un padre recurrente. El padre donante es aquel que posee y entrega un gen útil que será introgresado al padre recurrente. Se denomina padre recurrente porque será usado (cruzado) en forma repetida. El objetivo final es recuperar el padre recurrente, pero con el o los genes de interés, provenientes del padre donante. Generalmente, se deben hacer al menos 5 RC, aunque en algunos casos se llega hasta 10 o 12, dependiendo del carácter.

5. Método de Hibridación.

Antes del siglo XX, el término hibridación era utilizado para referirse a los cruzamientos entre distintas variedades vegetales; en cambio, en la actualidad, se entiende como el cruzamiento planificado entre dos plantas parentales cuidadosamente seleccionadas. El cruzamiento o hibridación puede ser intraespecífico, cuando ocurre entre individuos de la misma especie, o interespecífico, cuando ocurre entre individuos de distinta especie. Comercialmente, una variedad híbrida, o simplemente un híbrido, es aquella resultante de una hibridación entre dos líneas parentales y es utilizada para la producción de semilla comercial o híbrido comercial. Los trabajos de hibridación con mayor repercusión en la agricultura y economía mundial han sido los desarrollados en maíz.

Por medio del cruzamiento tradicional se obtiene una nueva variedad, o híbrido, que combina en su genoma aleatoriamente los genes de las plantas parentales, entre los cuales se encuentra el gen de interés que posee la información necesaria para la presencia de la característica deseada en el híbrido. Mediante métodos que involucran ingeniería genética es posible transferir al nuevo individuo los genes que sean necesarios para que se exprese la característica deseada.

Métodos basados en ingeniería genética: transgenia y cisgenia

Los métodos tradicionales de cruzamiento o hibridación han generado innumerables combinaciones de genes en innumerables generaciones de poblaciones vegetales con el fin de obtener una característica deseada. Los avances en ingeniería genética, principalmente aquellos que han posibilitado la codificación de las secuencias genéticas de organismos vivos, permiten acelerar este proceso de manera metódica y eficiente, haciendo que los fitomejoradores rescaten o aislen solo los genes de interés desde una planta u otro organismo para luego transferirlos a la planta a mejorar. Con este método se elimina la combinación aleatoria de genes presente en los métodos tradicionales de mejoramiento. Cuando el gen de interés proviene desde un individuo sexualmente compatible, usualmente de la misma familia taxonómica de la planta a mejorar, el método de mejoramiento es conocido como cisgenia; en el caso de que el gen provenga de un organismo sexualmente incompatible, generalmente de otra familia o, incluso, de otro reino, es conocido como transgenia. En definitiva, la ingeniería genética permite incorporar genes provenientes de cualquier especie, emparentada o no al genoma de la planta a mejorar, y preservar en su descendencia sus genes originales (Ramírez, 2006).

Pese a los beneficios de la transgenia, esta no pudo cumplir con su potencial. Se estima que esto ocurrió debido a

- i) la existencia de genotipos o especies recalcitrantes para ser transformados o regenerados *in vitro*;
- ii) la aleatorización en el genoma del sitio y el número de copias de los transgenes, con efectos de posición impredecibles;
- iii) la limitada elección de los caracteres (*traits*) objeto de la transformación (principalmente, tolerancia a herbicidas y a insectos);
- iv) el estricto y costoso proceso de desregulación para poder comercializar un OGM;
- v) una percepción pública en general negativa (e imprevista).

La edición genética, por otro lado, posee el potencial de realizar modificaciones en la secuencia de ADN dirigidas a genes específicos para alterar su

expresión (silenciarlos o sobreexpresarlos), reemplazar alelos e introducir transgenes en sitios específicos del genoma. Se estima que esta técnica puede reducir drásticamente los tiempos del mejoramiento y puede producir una ventaja radical en los programas tanto en animales como en plantas por su menor costo y mayor accesibilidad. En cultivos de reproducción agámica, como la papa, el banano, la yuca, la caña de azúcar o la vid, entre otros, la utilización de la edición génica puede modificar sustancialmente el esquema de los programas de mejoramiento, ya que permitiría realizar mejoras incrementales sobre genotipos establecidos y adaptados (élite). La realización de la edición génica de manera que se asegure la ausencia de secuencias de ADN foráneas puede determinar que los organismos mejorados no presenten requisitos reglamentarios especiales como los OGMs para su comercialización. La ausencia de marcadores de selección plantea tanto una ventaja desde la percepción pública de los alimentos mejorados por esta técnica como una dificultad que implica un esfuerzo significativo en la identificación de la descendencia “editada”.

¿Cómo funciona? La edición génica permite la mutación de regiones específicas del genoma a través de una nucleasa específica de ADN —orientada por una guía proteica o de ARN— que provoca cortes en una doble cadena. Estos cortes son reparados por la propia maquinaria celular con la posibilidad de introducir errores (deleciones o inserciones) que alteran regiones promotoras o el marco de lectura, lo que provocaría el virtual “apagado” del gen en cuestión. Asimismo, mediante la unión de extremos homólogos es posible introducir un fragmento de ADN con la secuencia de la región codificante del gen alterada. Esto produce un “recambio alélico” o un cambio en la expresión del mismo, si es en la región reguladora. De manera análoga, esta técnica permite crear sitios específicos de inserción para uno o más transgenes. La posibilidad de generar modificaciones en la secuencia de ADN en ausencia de secuencias genéticas foráneas puede determinar que los organismos mejorados no presenten requisitos reglamentarios especiales como los OGMs para su comercialización. En este sentido, los organismos editados genéticamente deberán enfrentar un nuevo escenario regulatorio —que se prevé menos complejo o, inclusive, sin regulación específica—, lo que reduciría considerablemente las barreras de entrada de los productos derivados por estas técnicas.

4. Experiencias de casos exitosos de la agroexportación utilizando las herramientas de mejoramiento genético de hortalizas y frutales

- Mejoras genéticas y tecnológicas en la producción de alcachofa industrial (Serie Actas del Seminario Internacional de Alcachofa, 2017)

La superficie cultivada con alcachofa en Chile ha disminuido drásticamente. Tradicionalmente se han cultivado 2 000 ha a nivel nacional de esta especie; sin embargo, entre los años 2007 y 2011, con el auge de la exportación de alcachofa procesada a Estados Unidos, esta cifra subió hasta 5 875 ha nacionales, de las cuales 3 030 se encontraban en la Región de Coquimbo. Esta región cuenta con un clima con características mediterráneas, como la zona de origen de esta especie, que permite su producción durante diez meses del año. Las cifras de exportación de alcachofas conservadas en vinagre o ácido acético a Estados Unidos fueron cercanas a los 10 000 000 kg (Odepa, 2017) para el año 2009. En ese momento, con el auge para esta especie, se planteó la alternativa de realizar un programa de mejoramiento para alcachofa en función de las variedades locales de buen comportamiento, específicamente para el tipo argentina, caracterizado por ser un tipo varietal de buenas características de procesamiento, ausencia de espinas, baja necesidad de vernalización y largo período de cosecha, por las condiciones benignas con ausencia de precipitaciones en las etapas de floración y cosecha. Los objetivos de este programa apuntaban al mejoramiento industrial tratando de subir el valor promedio del 30 %.

- Programa de mejora para alcachofa argentina

El programa de mejora para el tipo varietal argentina comenzó con una colecta de materiales de alcachofa entre las regiones de Coquimbo y Valparaíso. En total se colectaron 357 plantas por productividad y forma de cabezuela con objetivo de agroin-

dustria. El índice de productividad para la selección fue sobre la base del número de cabezas por planta. En un solo tallo, más de 10 cabezas, y con más de dos tallos, 14 cabezas, siempre en plantas de producción temprana.

Con las 357 plantas promisorias, se estableció un plantel madre en la Parcela Experimental de Pan de Azúcar del INIA, ubicada en Ruta 43 camino a Ovalle, Hijuela n.º 2 Cerillos, Coquimbo, donde, a través de caracteres UPOV (2001) para alcachofa y microsatélites para la especie, se caracterizaron y seleccionaron los 25 mejores clones. Desde el punto de vista morfológico, se encontraron diferencias en la mayoría de los caracteres fenológicos y productivos evaluados, pero no en las características morfológicas vegetativas ni en los marcadores genéticos utilizados. El proceso de selección se realizó después de evaluar en terreno de agricultores el comportamiento de las plantas clonadas durante dos temporadas.

Los caracteres fenológicos utilizados fueron los días de plantación a primera cosecha, con el fin de poder determinar la precocidad de cada individuo, y los días totales de producción, con el fin de determinar qué tan concentrado era el período de cosecha. La caracterización productiva se basó en la medición de peso (g) y diámetro (cm) de la cabezuela, y número de cabezuelas por planta. Con estos datos se pudo obtener el rendimiento total potencial (TM/ha y n.º cabezuelas/ha) alcanzable de cada individuo. Se registraron el número de cabezuelas de desecho y no comercializables, las que no fueron parte para la determinación del rendimiento total.

La evaluación de la cabezuela comprendió las siguientes características:

1. Longitud (cm). Distancia medida con pie de metro desde la punta de la cabezuela hasta el receptáculo, sin tallo.
2. Diámetro (cm). Distancia ecuatorial de la parte más ancha, medida con pie de metro.
3. Peso (g). Medido con balanza analítica.
4. Forma sección longitudinal. Forma del contorno de la cabezuela, puede ser redonda (1), elíptica ancha (2), oval (3), triangular (4) o elíptica transversal ancha (5).
5. Forma de la punta. Forma del perfil de la punta de la cabezuela, puede ser aguda (1), redonda (2), plana (3) o hundida (4).

6. Pigmentación antociánica. Presencia de color violeta en las brácteas internas de la cabezuela, puede ser ausente (1), leve (2), medio (3), fuerte (4) y muy fuerte (5). [Variable discreta].
7. Densidad de brácteas internas. Característica medida al tacto que se refiere al grado de compactación de las brácteas internas, puede ser laxa (1) o compacta (2).
8. Diámetro del receptáculo sin las cuatro capas exteriores (cm). Distancia medida con pie de metro del diámetro del receptáculo después de sacar las cuatro capas de brácteas exteriores.
9. Espesor del receptáculo (cm). Distancia medida con pie de metro del receptáculo sin tomar en cuenta el tallo.
10. Curvatura de la punta. Curvatura de la punta solo de las brácteas internas, puede estar presente (1) o ausente (2).
11. Forma de la sección longitudinal del receptáculo. Forma que puede ser plana (1), levemente deprimida (2) o muy deprimida (3).

La evaluación de la bráctea comprendió las siguientes características:

1. Presencia de mucrón. Presencia (1) o ausencia (2) de una punta corta, más o menos aguda y bien diferenciada que termina abruptamente en la punta de la bráctea. [Variable discreta].
2. Tamaño de espinas. Presencia o ausencia de espinas en la punta de la bráctea, puede ser ausente (1), muy pequeña (2), pequeña (3), media (4) y grande (5).
3. Forma principal. Forma de la bráctea mirada de frente, puede ser larga (1), ancha (2) o cuadrada (3).
4. Color de la cara externa. Color de la bráctea, puede ser verde (1) o verde con violeta (2).
5. Forma de la punta. Forma de la punta mirada de frente, puede ser aguda (1), plana (2), redonda (3) o hundida (4).
6. Ancho de la base (mm). Distancia medida con pie de metro de la base de la bráctea. La base se caracteriza por ser de color blanco, distintivo del resto de la bráctea.
7. Longitud de la base (mm). Distancia medida con pie de metro de la base de la bráctea.
8. Espesor de la base (mm). Distancia medida con pie de metro del perfil de la base de la bráctea.

de virus de los tres principales órganos de vegetación: hijuelos, tallos y rizomas (tallos modificados).

Se evaluó sobre 100 muestras de cada órgano el virus del mosaico de la alfalfa (AMV), virus del mosaico del pepino (CMV), virus del bronceado del tomate (TSWV), virus del mosaico amarillo del poroto (BYMV) y virus latente de la alcachofa (ArtV). Se trabajó con hojas jóvenes que provenían de plantas originadas a partir de distintos materiales de propagación (rizomas, tallos, hijuelos) y se amplificó por RT-PCR secuencias genómicas parciales de cada virus analizado. Primero, se realizaron extracciones de ácidos nucleicos totales (ANT) siguiendo el protocolo descrito por Bertheau et al. (1998). Todas las reacciones de PCR se realizaron en un termociclador XP modelo TC-XPD (BIOER, China) siguiendo un programa de temperaturas específico para cada virus. Los productos amplificados fueron visualizados en un gel de agarosa 1,5 % teñido con bromuro de etidio. Los resultados indicaron que el 100 % de los rizomas utilizados como órganos de propagación estaban contaminados con el virus latente de la alcachofa, por lo que se recomienda no utilizar ese tipo de órgano como fuente para propagación.

• Experiencia de propagación de alcachofa *in vitro*

Como alternativa sanitaria a los materiales clones seleccionados, se intentó la propagación *in vitro* de meristemas provenientes de hijuelos frescos. Las principales ventajas de este sistema de propagación son la limpieza de bacterias exógenas, la homogeneidad de la descendencia y un alto porcentaje de limpieza de virus, siempre y cuando al momento de la eliminación de primordios foliares se elimine la mayor parte de ellos. Las desventajas son el alto costo de obtención por planta y la pérdida de precocidad de producción otoñal (Cuadro 3). Se observa, además, una disminución en los rendimientos productivos a través de esta técnica de hasta un 48,6 %, como es en el caso del clon 307 del Cuadro 3.

La pérdida de precocidad puede ser mejorada con la utilización de ácido giberélico (AG). Lo importante es que el momento de aplicación debe corresponder a la fecha de inducción floral, que en alcachofa es a la octava hoja verdadera. En ese momento se hace la primera aplicación y se repite a los 10 y 20

Cuadro 3: Valores productivos entre plantas producidas bajo sistema de producción vegetativa de hijuelos vs. sistema de propagación *in vitro*

| Clones | Valores | Elite madres | Elite <i>In vitro</i> | |
|--------|---------------------|--------------|-----------------------|----|
| 37 | Inicio cosecha DDP | 127 | 177 | ** |
| | Amplitud (días) | 197 | 48 | ** |
| | Prod. total (kg/ha) | 28 845 | 18 579 | ** |
| 64 | Inicio cosecha DDP | 120 | 206 | ** |
| | Amplitud (días) | 203 | 63 | ** |
| | Prod. total (kg/ha) | 22 540 | 21 533 | |
| 69 | Inicio cosecha DDP | 120 | 224 | ** |
| | Amplitud (días) | 199 | 50 | ** |
| | Prod. total (kg/ha) | 23 661 | 16 121 | ** |
| 306 | Inicio cosecha DDP | 125 | 213 | ** |
| | Amplitud (días) | 204 | 61 | ** |
| | Prod. total (kg/ha) | 26 819 | 15 900 | ** |
| 307 | Inicio cosecha DDP | 128 | 203 | ** |
| | Amplitud (días) | 198 | 50 | ** |
| | Prod. total (kg/ha) | 24 863 | 12 085 | ** |

** Indica diferencia estadística significativa según prueba de t.

días después de esta. Los resultados de su utilización se encuentran en el Cuadro 4 y se observa que con el uso de AG es posible obtener hasta un mes de precocidad en materiales *in vitro* con gran pérdida de precocidad y, por lo tanto, lograr un número significativamente mayor de cosechas y un periodo de producción más amplio.

• **Experiencia de propagación con órganos vegetativos**

Siendo la alternativa de propagación vegetativa la más usada y dados los resultados obtenidos con propagación *in vitro*, se decidió evaluar el efecto en la brotación con los diferentes tipos de órganos. Los resultados (Cuadro 5) ratifican que en términos de brotación no es eficiente el uso de tallos modificados o rizomas, pero indican que lo mismo ocurre con los tallos secos, por lo que lo más recomendable es utilizar hijuelos frescos, ya que es más simple que la utilización de hijuelos enraizados u ovolis.

• **Programa de mejora a través de la vía sexual**

La literatura indica grandes dificultades para la producción de semillas de alcachofa. Esto ocurre porque es una planta predominantemente de polinización cruzada (alógama) debido a que presenta dicogamia del tipo protandria. Sus flores son hermafroditas, pero sus órganos masculinos y femeninos están viables en momentos diferentes; en este caso, primero se comporta como macho, el gineceo madura dos o tres días después de la producción del polen. A pesar de ser una especie semiperenne, hermafrodita, en la cual la protandria y la polinización por insectos incrementan el porcentaje de alo-gamia, puede comportarse como autógama debido a su floración centripeta que permite la autopolinización a nivel de capítulo.

Para lograr mejoras se realizó un proceso de polinización libre y colecta de semillas después de una selección masal. Aproximadamente 10 000 plantas

Cuadro 4: Precocidad de cosecha y número de cosechas en dos líneas élite 306 y 307 provenientes de propagación *in vitro*, sometidas a tratamiento con y sin AG

| Cosecha | | | | | |
|---------------|------|------------|---------------|----------|---------------|
| Factor | | Inicio DDP | Término DDP | Amplitud | Cosechas |
| Selección (A) | 306 | 169,83 a | 257,5 a | 87,67 a | 10 a |
| | 307 | 168,46 a | 255,1 a | 86,67 a | 9 a |
| | Pr>F | 0,5435 | 0,4785 | 0,8267 | 0,0983 |
| AG (B) | Si | 152,25 b | 261,25 b | 109,00 a | 11 b |
| | No | 186,04 a | 251,375 a | 65,33 a | 8 a |
| | Pr>F | 0 | 0,0149 | 0 | 0,0003 |
| A*B | Pr>F | 0,1673 | 0,3945 | 0,2006 | 0,0746 |

Letras distintas en una misma columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) según test de Duncan.

Cuadro 5: Porcentajes de brotación de cinco tipos de órganos de propagación plantados en verano, provenientes de material seleccionado, en la parcela experimental Pan de Azúcar, Coquimbo.

| Órgano de propagación | 4 semanas (25/02/10) | | 6 semanas (10/03/10) | | 8 semanas (25/03/10) | |
|-----------------------|----------------------|---|----------------------|----|----------------------|---|
| Hijuelo fresco | 92,26 | a | 93,75 | a | 99,40 | a |
| Hijuelo enraizado | 83,92 | b | 87,20 | ab | 96,13 | a |
| Tallo | 80,95 | b | 89,28 | ab | 90,47 | b |
| Rizoma | 80,95 | b | 89,28 | ab | 90,77 | b |
| Ovoli | 61,90 | c | 84,82 | b | 97,32 | a |

Cuadro 6: Evaluación industrial de líneas segregantes de alcachofa hasta la cuarta generación de autofecundación

| N.º Muestra | Nota calidad | Observación |
|-------------|--------------|---|
| 2 | 5,80 | No muy compacta |
| 17 | 4,00 | Suelta, hueca |
| 26 | 6,00 | Compacta, hoja delgada poca cintura |
| 38 | 6,20 | Compacta, sin cintura, largas |
| 50 | 5,90 | Compacta, algunos ejemplares redondeados, hojas más gruesas |
| 65 | 5,80 | Compacta, hoja fina, algo cintura, pequeña |
| 74 | 6,50 | Compacta, hoja fina |
| 75 | 5,50 | Compacta, hoja más gruesa, tipo cuadrado |
| 98 | 5,50 | Compacta, presenta cintura, manchado |
| 138 | 6,50 | Compacta, sin cintura |
| 142 | 5,90 | Compacta, algo cintura, larga |
| 167 | 5,80 | Compacta, algo cintura, larga |
| 192 | 6,00 | Compacta, hoja delgada |
| 194 | 6,00 | Compacta, algo cintura |

de semilla fueron plantadas y de ellas se realizó un proceso de selección-plantación-autofecundación que llegó hasta la cuarta generación de fecundación en algunos casos. La selección fue realizada en función del rendimiento y forma de la cabezuela.

• Evaluación industrial

Para la agroindustria, la forma de la cabezuela de alcachofa debe ser compacta, sin cintura y de hojas finas. Con el objeto de evaluar la calidad para la agroindustria de los materiales obtenidos a través del proceso de mejora sexual, se utilizó una pauta de evaluación del 1 al 7 para categorizar las líneas de semilla. Los resultados se muestran en el Cuadro 6.

5. Propuesta de nuevos temas de investigación y transferencia de tecnología

Desde el punto de vista del crecimiento en las exportaciones, el Perú se ha convertido en un gran exportador, tanto de frutales como hortalizas, frescas y procesadas. Sin embargo, ha descuidado el mercado nacional; por ello, las propuestas van orien-

tadas a levantar esa línea de trabajo, para postular a fondos del Ministerio de Agricultura o Economía.

- Como temas de investigación se propone incorporar los análisis genéticos a los programas de mejora actualmente en curso y en el avance de líneas mejoradas para evaluar si realmente hay diferencias entre los materiales, sobre todo si son de propagación clonal, como el caso de alcachofa o ajo. Para otros estudios se recomienda hacerlo en forma paralela, para no avanzar en programas con materiales genéticos duplicados.
- Se propone utilizar recursos genéticos locales para desarrollar nuevos cultivos, hortícolas, frutales, aromáticas, con alto valor funcional, para fresco o industria de alimentos. Combinar experiencias de los bancos de recursos genéticos con la experiencia del INIA para trabajos en conjunto. Esto está pensado en el mercado nacional de Perú. El mercado de lo étnico y los cultivos tradicionales está creciendo y, con la variedad de recursos que el Perú posee, es factible levantar nuevas especies como hortalizas, aromáticas o aditivos.
- En la misma línea, se recomienda incorporar las propiedades funcionales de los alimentos a los programas de mejora como un carácter más a evaluar. Es posible evaluar el contenido de poli-

- fenoles o polifenoles totales incluso en laboratorios externos si no se cuenta con lo necesario.
- Se propone implementación de huertos urbanos para mejorar la alimentación de la población de escasos recursos. En este punto es de especial importancia la utilización de técnicas de reciclaje, elaboración de compost con residuos domésticos, uso de energías renovables no convencionales.
 - No se analizan en las reuniones trabajos realizados con TICs, agricultura de precisión, uso de estaciones meteorológicas y su aplicación para mejorar eficiencia hídrica, tampoco imágenes satelitales o uso de drones, internet de las cosas. Se sugiere que se lleven líneas de investigación en esas áreas que son de impacto e interés por las fuentes de financiamiento actual.
 - En transferencia tecnológica se propone utilizar la tecnología de los grupos de transferencia tecnológica, que en Chile han dado muy buenos resultados; utilizar también la preparación de capacitadores y asesores y validar ensayos de investigación en parcelas de agricultores líderes.
 - Incorporar estrategias de manejo integrado de plagas con los agricultores para cambiar la estructura de aplicaciones a calendario fijo por aplicaciones solo si es necesario, con productos amigables para el medio ambiente (etiqueta verde) y el uso de enemigos naturales.
 - Incorporar la informática en todos los procesos de la cadena de valor.

Por otro lado, también se propone mejorar el área de investigación del INIA con lo siguiente:

1. Reuniones periódicas de investigadores de los diferentes rubros, donde expongan sus proyectos de investigación antes de ejecutarlos para recibir el aporte de jefes de investigación y sus pares;
2. Refuerzo de estadística, tanto en diseño de experimentos como en software utilizados (para publicar hoy, se requiere conocer los software modernos como R);
3. Refuerzo de publicaciones científicas de alto nivel incorporando este ítem dentro de la evaluación de los investigadores;
4. Refuerzo de técnicas de escritura de artículos científicos;
5. Incorporación de profesionales jóvenes con grado de doctor al Instituto;

6. Mayor visibilidad de la página web de INIA;
7. Uso de redes sociales, Facebook, Twitter, Instagram para dar a conocer eventos;
8. Evaluación específica de liberación de tecnologías (no es igual en todos los procesos, no es replicar exactamente lo mismo en diferentes localidades);
9. Uso de EPP (elementos de protección personal) en forma real en cada una de las asistencias técnicas y no incorporar fotos en presentaciones sin un uso correcto (de esa misma manera, es bueno que las presentaciones en seminarios usen todas el mismo formato, incorporando siempre el logo de la institución).

6. Conclusiones y recomendaciones

Desde el punto de vista técnico para la innovación, se observa un lento ingreso a las nuevas herramientas que están siendo utilizadas para un impacto más rápido y mayor visibilidad de acuerdo con los nuevos tiempos. Entre ellas se encuentran el ingreso a prácticas amigables con el medio ambiente con la asistencia técnica, uso de TICs en toda la cadena de valor, uso de redes sociales para las actividades de difusión.

Desde el punto de vista de la investigación, se detecta en el grupo de hortalizas y frutales poca cohesión entre sus componentes. Se registra también desconocimiento de las actividades de investigación que se realizan y falta de uniformidad de procesos de investigación, debilidades en análisis de datos y en la estructura de un artículo científico.

7. Bibliografía

1. **Bertheau, Y., Frechon, D., Toth, I. K., y Hyman., L. J. (1998).** Methods for the Detection and Quantification of *Erwinia Carotovora* Subsp Atroseptica on Potatoes. En Perombelon, M C. M. y van der Wolff, J. M. (Eds). Dundee: Scottish Crop Research Institute. Occasional publication.
2. **FAO. (2017).** El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017, fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria. Publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

3. **Jones, P., Jew, S. (2007).** Functional food development: concept to reality. *Trends in Food Science & Technology*, 18 (7), 387-390.
4. **Krarup, C., Moreira, I. (1998).** Hortalizas de estación fría. Biología y diversidad cultural. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Recuperado de http://www7.uc.cl/sw_educ/hort0498/index.html
5. **Nicoletti, M. (2012)** Nutraceuticals and botanicals: overview and perspectives. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63, 2-6.
6. **ODEPA, (2017).** Boletín de frutas y hortalizas procesadas. Publicación de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa) del Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Recuperado de www.odepa.gob.cl
7. **OMS, (2013).** *Informe sobre la salud en el mundo. Investigaciones para una cobertura sanitaria mundial.*
8. **Ramírez, L. (2006).** *Mejora de Plantas Alógenas.* España: Universidad Pública de Navarra.
9. **UPOV, (2001).** *Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. Alcachofa (Cynara scolymus L.) (Cynara cardunculus var. scolymus L.).* Ginebra.
10. **Vio, F. (2005).** Prevención de la obesidad en Chile. *Revista Chilena de Nutrición*, 32: 80-7.



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Av. La Molina 1981, La Molina
Lima - Perú
(51 1) 240/2100 / 240 2350
www.inia.gob.pe

