

Consortio INIA Chile, INIA Uruguay y Centro Internacional de la Papa (CIP)

El desafío de lograr variedades de papa y trigo tolerantes al cambio climático

Los escenarios a nivel mundial proyectan alzas en las temperaturas, variaciones en los patrones de precipitaciones y mayor ocurrencia de eventos climáticos extremos. Por otro lado, hay una pérdida de terrenos agrícolas por el aumento demográfico.

► **María Teresa Pino Q.**

Ingeniero Agrónomo, Ph.D
INIA La Platina
mtpino@inia.cl

► **Luis Inostroza F.**

Ingeniero Agrónomo, Dr.
INIA Quilamapu
linostroza@inia.cl

► **Julio Kalazich B.**

Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
INIA Remehue
jkalazich@inia.cl

► **Raymundo Gutiérrez**

Ingeniero Agrícola, M.Sc
Centro Internacional de la Papa (CIP)
r.o.gutierrez@cgiar.org

► **Marina Castro.**

Ingeniero Agrónomo, Ph.D
INIA Uruguay
mcastro@inia.org.uy

Curso teórico-práctico: ◀
“Evaluación de la Tolerancia a
Factores Abióticos”. Mayo, 2012
(Cuzco, Perú).



Frente a este escenario, un equipo interdisciplinario trabaja en la identificación y caracterización de genes de plantas, que naturalmente son capaces de soportar condiciones de alto déficit hídrico. Esto contribuirá a asegurar la alimentación con un aporte biotecnológico importante para la población global.



Los estudios del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, sigla en inglés) muestran que, además del alza en las temperaturas promedio, se observan variaciones en los patrones de precipitaciones y mayor frecuencia en la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

En casi todo el planeta se proyecta que la temperatura aumentará entre 1,8°C y 4°C a fines de este siglo, mientras el nivel del mar subiría entre 29 y 82 centímetros, producto del derretimiento de los hielos polares y de los glaciares. Esto tendrá graves consecuencias, ya que según se plantea, el umbral crítico de aumento de la temperatura es de alrededor de 2°C.

En Chile, el escenario climático al 2040 estima una intensificación de la aridez en la Zona Norte y el avance del desierto hacia el sur. Además, se produciría un aumento de la temperatura promedio de 2°C a 4°C, mientras que las precipitaciones disminuirían alrededor del 30% en la Zona Central, no así en los extremos del país donde se intensificarían (CONAMA, 2006).

Más allá de los escenarios climáticos proyectados, Chile ha enfrentado en los últimos años importantes periodos de sequía, particularmente en la Zona Centro-Norte del

país. Los embalses de la Región de Coquimbo han estado operando a menos de la mitad de su capacidad histórica, alcanzando niveles preocupantes: Puclaro un 4%, La Paloma un 3% y el Cogotí inferior al 1%.

Producción en secano: la más afectada por el cambio climático ◀

Como la agricultura depende de la disponibilidad de agua, cualquier cambio en el régimen de precipitaciones -en particular la sequía- afecta a los cultivos y frutales de nuestro país. En este escenario, los sistemas productivos de secano serían los más perjudicados, porque dependen de las precipitaciones estacionales. Por otra parte, la implementación de riego en cultivos de secano no es fácil, siendo la pequeña y mediana agricultura las más vulnerables, considerando su baja capacidad de inversión.

El efecto de la sequía sobre los rendimientos de los cultivos de secano depende de su duración, así como de la especie y el estado de desarrollo del cultivo. En trigo, el aumento de temperaturas y la sequía aceleran este desarrollo, causan aborto floral y acortan el periodo de llenado del grano. El periodo más crítico a estrés por





sequía ocurre durante la floración y llenado de granos, causando pérdidas importantes en los rendimientos.

Este fenómeno ha afectado la producción de trigo en las últimas temporadas a nivel global. Las sequías en Estados Unidos, Rusia y Australia causaron la mayor reducción en la oferta de este producto desde el año 2003 en el mundo. Kansas, el mayor productor de trigo de invierno de Estados Unidos, no sólo enfrentó las peores condiciones climáticas en casi tres décadas; también sufrió una de las peores sequías en el año 2012. En Asia Central, Kazajstán (país que ocupa el sexto lugar entre los mayores exportadores de trigo) estuvo enfrentado a estrés por sequía y altas temperaturas durante 2012, lo cual significó una reducción en su producción del 57%. Normalmente cosechaban 42 granos en cada espiga. Esa temporada sólo obtuvieron 2 a 4 granos por espiga.

El caso de la papa ◀

En papa, el incremento de las temperaturas y la sequía afectan el crecimiento vegetativo, inhiben la tuberización, tamaño y calidad del tubérculo. El periodo crítico a déficit hídrico es durante la tuberización o llenado de tubérculos.

Por tanto, las proyecciones sugieren que la sequía y el aumento de temperaturas causarían una disminución en los rendimientos en papa, particularmente en zonas donde "no exista" la posibilidad de implementar riego tecnificado.

Por otra parte, la temperatura nocturna tiene una influencia crucial en la diferenciación de tubérculos y formación de almidón. Cuando ésta supera los 22°C, el desarrollo de los tubérculos se ve severamente afectado. La disminución esperada de los rendimientos en varios países, particularmente de regiones tropicales y subtropicales, llegará al 20% - 30%.

- ▶ En las fotos se aprecia el Día de Campo realizado en Cauquenes, Chile (35°58'0"S 72°21'0"O) Octubre de 2012.



Durante estas últimas temporadas, la sequía ha afectado a 130 mil hectáreas de papa en Colombia, causando pérdidas del 50% en la producción. Contrariamente, se espera que el cambio climático tenga un efecto favorable sobre los rendimientos en zonas de cultivo de mayor latitud y altitud, siempre y cuando no existan limitaciones de agua. En tanto, el aumento sostenido de la temperatura ejerce una alta presión de selección sobre las papas silvestres, por lo mismo el CIP estima que cerca del 20% de ellas corren el riesgo de extinguirse para el año 2055.

Chile, Perú y Uruguay abordan el desafío en conjunto ◀

El consorcio formado por INIA Chile, INIA Uruguay y el Centro Internacional de Papa (CIP) busca aumentar la competitividad y sustentabilidad de cultivos de papa y trigo frente al cambio climático, a través de la selección

y desarrollo de genotipos¹ con mayor tolerancia a sequía y altas temperaturas. Es decir, busca poner a disposición de los programas de mejoramiento genético regionales genotipos tolerantes a sequía y altas temperaturas, así como protocolos de caracterización genética y fenotípica eficientes y estandarizados.

En este contexto y con financiamiento de los proyectos FONTAGRO ATN/OC-11943-RG (Fondo SECCI) y Cambio Climático (MINAGRI 501364-70) se han evaluado 380 genotipos de trigo y más de 200 genotipos de papa en los diferentes países, con el apoyo de un grupo interdisciplinario de profesionales en las áreas de mejoramiento genético, fisiología vegetal, biología molecular y manejo agronómico.

Los materiales de trigo evaluados provienen de los programas nacionales de mejoramiento genético de INIA

► **Tabla 1.** Lugares en Perú y Chile utilizados para evaluaciones de respuesta a sequía y altas temperaturas en papas.

| País | Lugar | Ubicación | Periodo de cultivo | Temperaturas promedio y precipitaciones acumuladas durante el periodo de cultivo |
|-------|-----------------|--|----------------------|--|
| Perú | La Molina | Lat.:12°04'41.20"S Long.:76°56'36.50"E Alt.: 243 msnm | Oct.2010- Ene.2011 | Temp.promedio máxima 25.2°C Temp Min Prom 17.3°C. Precipitación acumulada 0 mm. Desértico árido sub-tropical costanero. |
| | Huancayo | Lat.:12°00'34.96"S Long.:75°13'22.50"E Alt.: 3293 msnm | Ene.2011-Abril.2011 | Temp. promedio máxima 24.9°C Temp. Min Prom 9.3°C. Estuvo bajo los techos corredizos, para evitar el efecto de las precipitaciones |
| | Majes, Arequipa | Lat:16°29'27"S, Long.:72°05'33"E, Alt:1,268 msnm, | Oct.2011- Feb.2012 | Temp. promedio máxima 26.2°C Temp Min Prom 13.6°C. Precipitación acumulada 0 mm. Desierto árido. |
| Chile | La Platina, RM | Lat:33°34'12"S, Long: 70°38'0 Alt: 625 msnm | Oct.2011- Marz.2012 | Temp. promedio máxima 32.8°C Temp promedio 18.6°C. Precipitación acumulada 0 mm |
| | La Platina, RM | Lat:33°34'12"S, Long: 70°38'0 Alt: 625 msnm | Sept.2012- Marz.2013 | Temp. promedio máxima 35.5°C Temp promedio 17.4°C. Precipitación acumulada 68 mm |
| | Remehue, Osorno | Lat: 40°31' S Long: 73°03'0 Alt: 65 msnm. | Oct.2011- Abril.2012 | Temp. promedio máxima 20.9°C. Temp promedio 13.8° Precipitación acumulada 279 mm |
| | Remehue, Osorno | Lat: 40°31' S Long: 73°03'0 Alt: 65 msnm. | Oct.2012- Abril.2013 | Temp promedio máxima 20.3°C. Temp. promedio 13.9°C. Precipitación acumulada 375 mm |

1 Genotipo: Estructura y composición genética total de un individuo.



- ▶ Día de Campo realizado en INIA La Estanzuela, Uruguay (34°20'S, 57°42'O). Octubre 2012.



Chile (55 genotipos), del CIMMYT (143 genotipos) e INIA Uruguay (186 genotipos).

En el caso de Chile, y durante estas últimas temporadas, los 384 genotipos fueron evaluados en campo, bajo dos condiciones hídricas (riego y déficit hídrico) en las localidades de Santa Rosa, Chillán, Región del Biobío, y en Cauquenes, Región del Maule. Ambos ambientes presentan clima mediterráneo, pero difieren en el tipo de suelo y cantidad de precipitaciones. En Cauquenes (35° 58'S; 72° 17'O) el suelo es de origen granítico (Alfisol), presenta baja fertilidad y las precipitaciones no superan los 500 mm/año. Por otro lado, en Chillán (36°31' S; 71°54' O) el suelo es de origen volcánico (Andisol), presenta una adecuada fertilidad para el cultivo del trigo y las precipitaciones pueden superar los 1.000 mm/año. Los materiales de trigo fueron evaluados en función del rendimiento, componentes del rendimiento, parámetros fisiológicos y moleculares.

Sobre la base de índices de selección de tolerancia a sequía, que integran el rendimiento bajo riego y sequía, se identificaron en Chile 16 genotipos contrastantes en rendimiento -tolerantes y sensibles- en ambas condiciones (riego y sequía). Esos genotipos fueron nuevamente fenotipados en campo en INIA La Estanzuela, Uruguay (34° 20'S, 57° 42'O), en suelos con una adecuada fertilidad



para el cultivo del trigo (Brunosol Eutrico Típico LAc v) y bajo techos corredizos para evitar el efecto de las precipitaciones.

Por otra parte, con fondos del proyecto se caracterizaron genéticamente las 384 líneas de trigo, utilizando una metodología de secuenciación de última generación, conocida como GBS (sigla en inglés para Genotyping-by-Sequencing), trabajo que se realizó en colaboración con Kansas State University (EE.UU.) y el Institut de Biologie Intégrative et des Systèmes (IBIS), Université Laval (Quebec, Canadá). Esta técnica permite la selección de genotipos sobresalientes en caracteres que se busca mejorar, como tolerancia a sequía o rendimiento de grano, mediante la integración de información fenotípica y genotípica en modelos de predicción. Se identificaron 102 mil 324 marcadores moleculares tipo SNP (single nucleotide polymorphism) y se ajustó el modelo de predicción (GBLUP) para rendimiento de grano (RG). Este análisis permitió identificar los mejores genotipos mediante el cálculo de sus “valores de cría”, índice que integra la información fenotípica (RG) y genotípica (SNP) en cada ambiente y entre los distintos ambientes. También se realizó análisis de “mapeo asociativo”, procedimiento que permite identificar regiones genómicas o genes de interés para la tolerancia a sequía.

En papa se han evaluado sobre 200 genotipos entre Chile y el CIP, incluyendo germoplasma nativo, líneas segregantes, líneas avanzadas y cultivares, los cuales han sido caracterizados por su respuesta a sequía y altas temperaturas. El protocolo de evaluación en papa considera evaluaciones en campo bajo riego y sequía, evaluaciones fisiológicas detalladas para genotipos contrastantes (sensibles y tolerantes) y evaluaciones moleculares que incluyen expresión génica y genotipado. Al igual que en trigo, se está utilizando la metodología de secuenciación de última generación (GBS), trabajo que se realiza en el Institute for Genomic Diversity, Cornell University (EE. UU.).

La evaluación en campo ha considerado los distintos genotipos, tanto en condiciones de riego como de sequía, en diferentes áreas geográficas de cada país (Tabla 1). En este contexto el CIP durante la ejecución del proyecto evaluó un total de 918 accesiones de papa, basados en los índices de selección de tolerancia a sequía, que integran el rendimiento bajo riego y sequía. Entre los índices

evaluados, MP (Productividad Media), GMP (Productividad Media Geométrica) y DTI (Tolerancia a Sequía), permitieron identificar un grupo de accesiones con alta producción en ambas condiciones (riego y sequía). Además, cada temporada INIA Chile ha estado evaluando con esta metodología líneas de papa avanzadas, prontas a convertirse en cultivares comerciales, con el fin de entregar al productor información relevante respecto a cómo estos materiales se comportarían frente a eventos climáticos como sequía y altas temperaturas.

Por otra parte, en el proyecto FONTAGRO se ha estado calibrando y validando el modelo de simulación AQUA-CROP (creado por la FAO) en cinco genotipos de trigo y en los cultivares Karú-INIA y Desireé en condiciones de riego y secano. Esta herramienta permitirá no sólo predecir los cambios en rendimientos de este cultivo en respuesta al futuro cambio climático, sino también ayudará a diseñar y evaluar estrategias de manejo (por ejemplo, épocas de plantación y necesidades de riego) que permitan mantener o incrementar los rendimientos en futuros escenarios climáticos.

La alianza entre el consorcio INIA Chile, INIA Uruguay y el CIP ha logrado identificar líneas parentales tolerantes a sequía, que están siendo incorporadas a los programas de mejoramiento genético de cada país. Asimismo, los cultivares actualmente comercializados han sido evaluados en función de su respuesta a sequía y altas temperaturas, lo cual ha permitido identificar algunos materiales genéticos que tienen mejor comportamiento frente a estos eventos, entre los que destacan líneas de papas avanzadas como R89063-59 y R90160-5, y cultivares como Karú-INIA.

En el marco de este proyecto se han presentado resultados en a lo menos 20 congresos en Chile y el extranjero, cuatro publicaciones científicas de alto impacto, 10 días de campo y tres talleres regionales entre los países miembros del consorcio junto con España, Estados Unidos y otros países latinoamericanos, en temas como estrategias de genética asociativa, evaluación de la tolerancia a factores abióticos y metodología de secuenciación de última generación. Por último, destaca también la formación de a lo menos 10 tesis en esta temática.

La iniciativa cuenta con una página web que entrega información sobre sus objetivos, avances, resultados y actividades de difusión (http://platina.inia.cl/ftg_cluype/).

Nota: Esta iniciativa contó con el apoyo de los investigadores Iván Matus y Patricio Sandaña de INIA Quilamapu (Chile), además de Bettina Lado del Centro internacional de la Papa; valiosos integrantes del equipo de trabajo.

