

Seminarios virtuales “BPA-CI en sistemas agroalimentarios andinos basados en papa”.

Papa, Familia y Clima

Proyecto Regional

Webinar 6.
Mejor uso y gestión del
agua

2021

Módulo 2

Prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente inteligentes
para la producción de papa

Este proyecto forma parte de



Financiado por
la Unión Europea

Agencias implementadoras



giz

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Entidades solicitantes



CIP
CENTRO
INTERNACIONAL
DE LA PAPA





Manejo del Agua y Modelación en el cultivo de papa desde el CIP: Avances y retos

David A. Ramírez & Johan Ninanya
Centro Internacional de la Papa (CIP)

Lima, mayo 2021

Este proyecto forma parte de



Financiado por
la Unión Europea

Agencias implementadoras



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Entidades solicitantes



CIP
CENTRO
INTERNACIONAL
DE LA PAPA





Contenido

I. Introducción	4
II. Argumento de tesis	4
IV. Conclusión	7
V. Referencias Bibliográficas	7

DOCUMENTO DE DEBATE

Este proyecto forma parte de



Financiado por
la Unión Europea

Agencias implementadoras



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Entidades solicitantes



CIP
CENTRO
INTERNACIONAL
DE LA PAPA





I. Introducción

El 70% de agua dulce del mundo es utilizado en la agricultura, y para 2050 se pronostica que el consumo de este recurso se incrementará entre 2.5 a 3 veces el consumo actual (Lal, 2013) debido a la necesidad de cultivar más alimentos para más personas. Este reto, no obstante, se dificulta con la reducción de la disponibilidad de agua promovida por eventos extremos (sequías e inundaciones) los cuales se están incrementando por el cambio climático en la región latinoamericana (IPCC, 2014). Cultivos de importancia alimentaria mundial y con alta susceptibilidad a las sequías como la papa (Hill et al., 2021) se verán especialmente afectados por los desafíos mencionados. Bajo este contexto el Centro Internacional de la Papa (CIP) ha venido trabajando en tecnologías que permitan adaptarnos al cambio climático relacionadas con la optimización del uso del agua a través de su manejo y detección temprana de estrés y herramientas de modelación, cuyos alcances se analizarán en los webinarios y presente memoria.

II. Argumento de tesis

2.1 *¿Cómo podemos optimizar el uso del agua a través de conocer mejor a las plantas y teniendo en cuenta los avances tecnológicos?*

La afección de la escasez del agua a las plantas depende de la combinación del momento, duración e intensidad de dicha restricción hídrica, esto es, del escenario de sequía (Ramírez et al., 2016a). Para el caso de papa, las restricciones hídricas en fases muy tempranas por ejemplo afectan de manera dramática el rendimiento (Ramírez et al., 2016b). Por otro lado, hemos podido reportar que duraciones de restricciones hídricas distintas pueden incluso tener efecto en la respuesta en los rasgos asociados en tolerancia en papa (Li et al., 2019). Lamentablemente hay muy pocos estudios destinados a comprender mejor los mecanismos fisiológicos y sus respuestas ambientales en papa que pueden ser la clave para lograr mejores manejos en torno a la optimización del recurso hídrico. Así, estudios más intensos relacionados a la memoria al estrés (Ramírez et al., 2015a), la redistribución hidráulica por parte de las raíces (Saaed et al., 2015) y la transpiración nocturna (Ramírez et al., 2018) son necesarios profundizar a futuro en papa para lograr apropiados manejos en la optimización del agua. Por poner un par de ejemplos de la potencialidad de incorporar estudios eco fisiológicos en el manejo del agua en papa:



- a) El desecado parcial de raíces (PRD, del inglés “Partial Root-zone Drying”) es una técnica que consiste en la alternancia del riego de un surco a otro en diferentes campañas de riego. En una fecha se riega un surco, el mismo que es dejado secar en la siguiente fecha de riego irrigando el que no se regó previamente. Se ha podido demostrar que entre 29 y 50 % del agua en comparación con el control (Liu et al., 2006; Shahnazari et al., 2007; Jovanovic et al., 2010; Xie et al., 2012; Yactayo et al., 2013) es factible de ahorrar utilizando esta técnica en papa. El uso de sifones incrementa la eficiencia en la entrega del agua al surco, y a su vez se ha visto que aumenta la efectividad de la técnica para ahorrar agua sin reducir el rendimiento de papa (Yactayo et al., 2017). Hay estudios que sugieren incluso que la calidad del tubérculo puede ser mejorada utilizando PRD (Jovanovic et al., 2010; Shahnazari et al., 2007), y nuestras mediciones de huella de carbono indican que esta técnica es más económica y amigable con el ambiente que el riego tecnificado (Qin et al., 2018). En papa se ha estudiado que el someter a las plantas a un estrés medio de agua puede mejorar su respuesta a futuros eventos de restricción hídrica en el mismo ciclo (memoria a corto plazo al estrés hídrico, e.g. Vasquez-Robinet et al., 2008), y en subsiguientes ciclos de vida (memoria a largo plazo al estrés hídrico, e.g. Ramírez et al., 2015a). Este efecto memoria al estrés hídrico, es el que sugerimos es el responsable de que los tratamientos tempranos de restricción hídrica en el PRD tengan mejores resultados con relación a los tratamientos tardíos (Yactayo et al., 2013). No obstante, esto aún es un campo que invita a ser explorado a futuro.
- b) La detección temprana de estrés hídrico ha permitido el poder crear herramientas de soporte de decisión para determinar cuándo regar a través de cámaras con sensores infrarrojos en papa (Prashar et al., 2013; Rud et al., 2014, Ramírez et al. 2016b; Rinza et al., 2019, Cucho-Padin et al., 2020). Dichos sensores nos permiten evaluar la temperatura del follaje, la misma que está asociada a si los poros o estomas de las hojas se encuentran abiertos (mayor transpiración ocasionando menor temperatura por refrigeración) o cerrados (menor transpiración y consecuente incremento de temperatura). Dicha tecnología de procesamiento de imágenes termales generadas desde el CIP está siendo puesta a disposición de la comunidad científica en acceso abierto (Cucho-Padin et al., 2020), incluyéndose la posibilidad de la adquisición de imágenes a través de telefonía celular (Cucho-Padin et al., 2019). El uso del estrés hídrico del cultivo (CWSI, del inglés “Crop Water Stress Index”), que toma como base la temperatura del follaje en relación con otras temperaturas (ver detalles en Rinza et al., 2019), teniendo como umbral de riego un CWSI < 0.4, ha permitido el ahorro de hasta 342-516 m³ ha⁻¹ sin reducir significativamente el rendimiento del cultivo. Dicho umbral de riego, que depende del tipo de riego (goteo versus gravedad) y la eco fisiología (a través del estudio de la fotosíntesis utilizando isotopos estables de carbono, Ramírez et al., 2015b), nos está ayudando a conocer que bajo riego por gravedad la papa es capaz de activar mecanismos de memoria permitiendo el uso de umbrales más exigentes de riego en relación con el riego por goteo (Silva-Díaz et al., 2020a).



Esto nos invita a seguir explorando métodos de manejo del agua más económicos y amigables con el medio ambiente a través del estudio de la respuesta eco fisiológica del cultivo.

2.2 ¿Cómo las herramientas de modelación del cultivo nos ayudarán a adaptarnos mejor a las condiciones cambiantes del clima?

La literatura científica reciente en modelación remarca la importancia de lograr modelos matemáticos más sencillos para la simulación (Zhao et al., 2019), algo que también desde el CIP hemos podido remarcar y demostrar que es factible de hacer en papa (Quiroz et al., 2017). El modelo SOLANUM es un modelo que pertenece a la familia de los modelos de eficiencia de uso de luz, y es un modelo eco fisiológico sencillo que ha sido usado para simular rendimiento ante condiciones potenciales, restricción hídrica y condiciones de bajas temperaturas (Condori et al., 2010; 2014; Carli et al., 2014; Quiroz et al., 2017). Dicho modelo posee una herramienta llamada “el calculador de parámetro” que permite estimar los parámetros relacionados a la dinámica temporal de captación de luz y llenado de tubérculo sin necesidad de llevar a cabo ensayos específicos de calibración del modelo. Así, esta herramienta ha permitido, a través de información proporcionado por expertos de campo, analizar los principales causantes de la brecha de rendimiento en la producción de papa en África (Harahagazwe et al., 2018). La conjugación de saber experto y la modelación es un excelente ejemplo de manejo del conocimiento que junto a los escenarios climáticos nos permiten explorar comportamientos de los genotipos de papa a futuro. Otro avance importante de remarcar es la incorporación de las señales asociadas a diferentes longitudes de onda adquiridas por sensores tanto de reflectancia (asociadas al rojo y rojo lejano y su combinación en el índice de vegetación de diferencia normalizada - NDVI) como de emisión termal. El NDVI resume muy bien la conformación del follaje, la biomasa y el verdor, dando estupendos resultados cuando es utilizado en SOLANUM para simular la dinámica temporal del follaje y su intercepción de luz (Quiroz et al., 2017). La adquisición de NDVI a través de vehículos aéreos no tripulados y su incorporación en la modelación con SOLANUM nos ha permitido conocer que aún queda por hacer en el mejoramiento genético para lograr genotipos de papas más eficientes en el uso de la intercepción y uso de la luz (Silva-Díaz et al., 2020b). La mejora y disponibilidad de imágenes satelitales y su uso en el campo agrícola relacionado a las estadísticas agrarias, sistema de soportes de decisión para el manejo de cultivos, entre otras, está siendo remarcado por la literatura reciente (Segarra et al., 2020). Esto en conjunción con modelos de predicción climática, permite crear modelos espaciales para simular rendimiento, pero, sobre todo, el poder recomendar fechas de siembra óptimas para los cultivos (e.g. Bannayan et al., 2013; Tang et al., 2018; Baum et al., 2020). Esta es una línea a futuro de alta necesidad para la producción de papa que según algunos estudios permitiría incluso la posibilidad de incrementar rendimientos de papa ante escenarios de cambio climático (Jennings et al., 2020), y que cobra especial importancia teniendo en cuenta la dominancia de agricultura en secano en nuestra región Andina.

Este proyecto forma parte de



Financiado por
la Unión Europea

Agencias implementadoras



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Entidades solicitantes





III. Conclusión

Importantes medidas de adaptación pueden ser logradas teniendo en cuenta los frentes de la eco fisiología de las plantas, modelación, sensoramiento proximal y remoto. Por un lado, la optimización del agua a través de métodos como el desecado parcial de las raíces, o teniendo en cuenta umbrales eco fisiológicos a través de termografía, han venido mostrando alentadores resultados. Estas medidas serán importantes en condiciones donde haya agua disponible y donde hay necesidad de optimizarla como en situaciones luego de la siembra o cosecha de agua. Por otro lado, la modelación de cultivos utilizando modelos sencillos, información satelital y predicción climática nos permitirán la recomendación de fechas óptimas de siembra para encontrar ventanas temporales de condiciones futuras propicias con la finalidad de obtener rendimientos apropiados. Todo ello junto con la ciencia de datos, internet de las cosas, big-data, robótica e inteligencia artificial permitirán a futuro el poder adaptarnos mejor a nuestros entornos cambiantes.

IV. Referencias Bibliográficas

- Bannayan, M.; Rezaei, E. E.; Hoogenboom, G. Determining optimum planting dates for rainfed wheat using the precipitation uncertainty model and adjusted crop evapotranspiration. *Agricultural water management*. 2013, 126, 56-63.
- Baum, M. E.; Licht, M. A.; Huber, I.; Archontoulis, S. V. Impacts of climate change on the optimum planting date of different maize cultivars in the central US Corn Belt. *European Journal of Agronomy*. 2020, 119, 126101.
- Carli, C.; Yuldashev, F.; Khalikov, D.; Condori, B.; Mares, V.; Monneveux, P. Effect of Different Irrigation Regimes on Yield, Water Use Efficiency and Quality of Potato (*Solanum Tuberosum* L.) in the Lowlands of Tashkent, Uzbekistan: A Field and Modeling Perspective. *Field Crops Res*. 2014, 163, 90–99.
- Condori, B.; Hijmans, R. J.; Quiroz, R.; Ledent, J. F. Quantifying the Expression of Potato Genetic Diversity in the High Andes through Growth Analysis and Modeling. *Field Crops Res*. 2010, 119, 135–144.
- Condori, B.; Hijmans, R. J.; Ledent, J. F.; Quiroz, R. Managing Potato Biodiversity to Cope with Frost Risk in the High Andes: A Modeling Perspective. *PLoS ONE* 2014, 9, 3.
- Cucho-Padin, G.; Rinza, J.; Ninanya, J.; Ramirez, D. A., "Thermal Images Processor for Android phones, TIPCIP V1.0", <https://doi.org/10.21223/V7ON5T>, International Potato Center, 2019, V1
- Cucho-Padin, G.; Rinza, J.; Ninanya, J.; Loayza, H.; Quiroz, R.; Ramirez, D. A. Development of an Open-Source Thermal Image Processing Software for Improving Irrigation Management in Potato Crops (*Solanum Tuberosum* L.). *Sensors* 2020, 20 (2), 472.
- Harahagazwe, D.; Condori, B.; Barreda, C.; Bararyenya, A.; Byarugaba, A. A.; Kude, D. A.; Lung'aho, C.; Martinho, C.; Mbiri, D.; Nasona, B.; Ochieng, B.; Onditi, J.; Randrianaivoarivony, J. M.; Tankou, C. M.; Worku, A.; Schulte-Geldermann, E.; Mares, V.; Mendiburu, F. de; Quiroz, R. Q. How Big Is the Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Yield Gap in Sub-Saharan Africa and Why? A Participatory Approach. *Open Agric*. 2018, 3 (1), 180–189.
- Hill, D.; Nelson, D.; Hammond, J.; Bell, L. Morphophysiology of Potato (*Solanum Tuberosum*) in Response to Drought Stress: Paving the Way Forward. *Front. Plant Sci*. 2021, 11.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2014 Synthesis Report*. IPCC: Geneva, Switzerland, 2014, 169p
- Jennings, S. A.; Koehler, A.-K.; Nicklin, K. J.; Deva, C.; Sait, S. M.; Challinor, A. J. Global Potato Yields Increase Under Climate Change With Adaptation and CO₂ Fertilisation. *Front. Sustain. Food Syst*. 2020, 4.
- Jovanovic, Z.; Stikic, R.; Vucelic-Radovic, B.; Paukovic, M.; Brocic, Z.; Matovic, G.; Rovcanin, S.; Mojevic, M. Partial Root-Zone Drying Increases WUE, N and Antioxidant Content in Field Potatoes. *Eur. J. Agron*. 2010, 33, 124–131.
- Lal, R. Food Security in a Changing Climate. *Ecohydrol. Hydrobiol*. 2013, 13, 8–21.



- Li, X.; Ramírez, D. A.; Qin, J.; Dormatey, R.; Bi, Z.; Sun, C.; Wang, H.; Bai, J. Water Restriction Scenarios and Their Effects on Traits in Potato with Different Degrees of Drought Tolerance. *Sci. Hortic.* 2019, 108525.
- Liu, F. L.; Shahnazari, A.; Andersen, M. N.; Jacobsen, S. E.; Jensen, C. R. Effects of Deficit Irrigation (DI) and Partial Root Drying (PRD) on Gas Exchange, Biomass Partitioning, and Water Use Efficiency in Potato. *Sci. Hortic.* 2006, 109, 113–117.
- Prashar, A.; Yildiz, J.; McNicol, J. W.; Bryan, G. J.; Jones, H. G. Infra-Red Thermography for High Throughput Field Phenotyping in *Solanum Tuberosum*. *Plos One* 2013, 8 (6), e65816.
- Qin, J.; Ramírez, D. A.; Xie, K.; Li, W.; Yactayo, W.; Jin, L.; Quiroz, R. Is Partial Root-Zone Drying More Appropriate than Drip Irrigation to Save Water in China? A Preliminary Comparative Analysis for Potato Cultivation. *Potato Res.* 2018, 61 (4), 391–406.
- Quiroz, R.; Loayza, H.; Barreda, C.; Gavilán, C.; Posadas, A.; Ramírez, D. A. Linking Process-Based Potato Models with Light Reflectance Data: Does Model Complexity Enhance Yield Prediction Accuracy? *Eur. J. Agron.* 2017, 82, Part A, 104–112.
- Ramírez, D. A.; Rolando, J. L.; Yactayo, W.; Monneveux, P.; Mares, V.; Quiroz, R. Improving Potato Drought Tolerance through the Induction of Long-Term Water Stress Memory. *Plant Sci.* 2015 (a), 238, 26–32.
- Ramírez, D. A.; Rolando, J. L.; Yactayo, W.; Monneveux, P.; Quiroz, R. Is Discrimination of ^{13}C in Potato Leaflets and Tubers an Appropriate Trait to Describe Genotype Responses to Restrictive and Well-Watered Conditions? *J. Agron. Crop Sci.* 2015 (b), 201, 410–418.
- Ramírez, D.A.; Monneveux, P.; Quiroz, R. Mitigando los efectos de la sequía en papa: Algunos alcances y retos. En: Pino, M.T. (Ed.). Estrés hídrico y térmico en papa, avances y protocolos. Boletín INIA 2016(a) N° 331, 115-129.
- Ramírez, D. A.; Yactayo, W.; Rens, L. R.; Rolando, J. L.; Palacios, S.; De Mendiburu, F.; Mares, V.; Barreda, C.; Loayza, H.; Monneveux, P.; Zotarelli, L.; Khan, A.; Quiroz, R. Defining Biological Thresholds Associated to Plant Water Status for Monitoring Water Restriction Effects: Stomatal Conductance and Photosynthesis Recovery as Key Indicators in Potato. *Agric. Water Manag.* 2016 (b), 177, 369–378.
- Ramírez, D. A.; Yactayo, W.; Rolando, J. L.; Quiroz, R. Preliminary Evidence of Nocturnal Transpiration and Stomatal Conductance in Potato and Their Interaction with Drought and Yield. *Am. J. Potato Res.* 2018, 95 (2), 139–143.
- Rinza, J.; Ramírez, D. A.; García, J.; de Mendiburu, F.; Yactayo, W.; Barreda, C.; Velasquez, T.; Mejía, A.; Quiroz, R. Infrared Radiometry as a Tool for Early Water Deficit Detection: Insights into Its Use for Establishing Irrigation Calendars for Potatoes Under Humid Conditions. *Potato Res.* 2019, 62 (2), 109–122.
- Rud, R.; Cohen, Y.; Alchanatis, V.; Levi, A.; Brikman, R.; Shenderay, C.; Heuer, B.; Markovitch, T.; Dar, Z.; Rosen, C.; Mulla, D.; Nigon, T. Crop Water Stress Index Derived from Multi-Year Ground and Aerial Thermal Images as an Indicator of Potato Water Status. *Precis. Agric.* 2014, 15 (3), 273–289.
- Saeed, H.; Grove, I. G.; Kettlewell, P. S.; Hall, N. W.; Fairchild, I. J.; Boomer, I. Hydraulic Redistribution from Wet to Drying Roots of Potatoes (*Solanum Tuberosum* L.) During Partial Rootzone Drying. *Adv. Crop Sci. Technol.* 2015.
- Segarra, J.; Buchailot, M. L.; Araus, J. L.; Kefauver, S. C. Remote Sensing for Precision Agriculture: Sentinel-2 Improved Features and Applications. *Agronomy* 2020, 10 (5), 641.
- Shahnazari, A.; Liu, F. L.; Andersen, M. N.; Jacobsen, S. E.; Jensen, C. R. Effects of Partial Root-Zone Drying on Yield, Tuber Size and Water Use Efficiency in Potato under Field Conditions. *Field Crops Res.* 2007, 100, 117–124.
- Silva-Díaz, C.; Ramírez, D. A.; Rinza, J.; Ninanya, J.; Loayza, H.; Gómez, R.; Anglin, N. L.; Eyzaguirre, R.; Quiroz, R. Radiation Interception, Conversion and Partitioning Efficiency in Potato Landraces: How Far Are We from the Optimum? *Plants* 2020 (a), 9 (6), 787.
- Silva-Díaz, C.; Ramírez, D. A.; Rodríguez-Delfin, A.; de Mendiburu, F.; Rinza, J.; Ninanya, J.; Loayza, H.; Quiroz, R. Unraveling Ecophysiological Mechanisms in Potatoes under Different Irrigation Methods: A Preliminary Field Evaluation. *Agronomy* 2020 (b), 10 (6), 827.
- Tang, J.; Wang, J.; Fang, Q.; Wang, E.; Yin, H.; Pan, X. Optimizing planting date and supplemental irrigation for potato across the agro-pastoral ecotone in North China. *European Journal of Agronomy.* 2018, 98, 82-94.
- Vasquez-Robinet, C.; Mane, S. P.; Ulanov, A. V.; Watkinson, J. I.; Stromberg, V. K.; De Koeber, D.; Schafleitner, R.; Willmot, D. B.; Bonierbale, M.; Bohnert, H. J.; Grene, R. Physiological and Molecular Adaptations to Drought in Andean Potato Genotypes. *J. Exp. Bot.* 2008, 59, 2109–2123.
- Yactayo, W.; Ramirez, D. A.; Gutierrez, R.; Mares, V.; Posadas, A.; Quiroz, R. Effect of Partial Root-Zone Drying Irrigation Timing on Potato Tuber Yield and Water Use Efficiency. *Agric. Water Manag.* 2013, 123, 65–70.
- Yactayo, W.; Ramírez, D. A.; German, T.; Worku, A.; Abeb, A.; Harahagazwe, D.; Mares, V.; De Mendiburu, F.; Quiroz, R. Improving Potato Cultivation Using Siphons for Partial Root-Zone Drying Irrigation: A Case Study in the Blue Nile River Basin, Ethiopia. *Open Agric.* 2017, 2 (1).
- Xie, K.; Wang, X.-X.; Zhang, R.; Gong, X.; Zhang, S.; Mares, V.; Gavilán, C.; Posadas, A.; Quiroz, R. Partial Root-Zone Drying Irrigation and Water Utilization Efficiency by the Potato Crop in Semi-Arid Regions in China. *Sci. Hortic.* 2012, 134, 20–25.

Papa, Familia y Clima

Proyecto Regional



Zhao, C.; Liu, B.; Xiao, L.; Hoogenboom, G.; Boote, K. J.; Kassie, B. T.; Pavan, W.; Shelia, V.; Kim, K. S.; Hernandez-Ochoa, I. M.; Wallach, D.; Porter, C. H.; Stockle, C. O.; Zhu, Y.; Asseng, S. A SIMPLE Crop Model. Eur. J. Agron. 2019, 104, 97–106.

DOCUMENTO DE DEBATE

Este proyecto forma parte de



Financiado por
la Unión Europea

Agencias implementadoras



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Entidades solicitantes



CIP
CENTRO
INTERNACIONAL
DE LA PAPA

