



Evaluación de genotipos de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el sur de Buenos Aires durante 2020-21

Matías Quintana, Alberto Schwab, Omar Reinoso & Juan Renzi. INTA H. Ascasubi.

Resumen

Chenopodium quinoa Will. es una especie nativa de la Región andina de América del Sur (Sebastián & Aguirre, 2012). Posee abundante diversidad genética, lo que le otorga una gran capacidad de adaptación a diferentes ambientes, entre ellos a los que caracterizan a la zona del Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC). Sumado a esto, su baja demanda hídrica y el creciente interés del mercado Nacional e Internacional (Rivas, 2018) le otorgan un potencial productivo y comercial de gran interés para nuestra región.

Sin embargo, no existen trabajos previos en los que se evalúe el comportamiento de los genotipos disponibles en la zona del VBRC. Es por ello, que dentro del Proyecto Estructural I516, se encuentra la actividad de "Red de evaluación de genotipos de quínoa" la cual tiene por objetivo observar el comportamiento de diferentes genotipos en regiones contrastantes del país. Para ello, se distribuyeron ocho genotipos en diferentes localidades y se sembraron en parcelas con tres repeticiones. Se observaron y tomaron muestras de diferentes parámetros relacionados al comportamiento fenológico y rendimiento de grano para determinar la adaptabilidad de cada uno a las diferentes regiones.

Los resultados obtenidos fueron de gran importancia, ya que pudimos observar que los genotipos de mejor comportamiento fueron Faro y Morillos. En estos casos, el rendimiento y el P_{1000} fueron los más altos, sin diferencias significativas entre ellos. Por otro lado, ambos genotipos tendrían un ciclo a madurez que no se vería afectada por ocurrencia de heladas en las condiciones del VBRC.

En conclusión, los genotipos mencionados, son potencialmente adaptables a los sistemas productivos del VBRC, por la duración del ciclo y rendimiento.



Introducción

La quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo primavero-estival andino, domesticado hace miles de años por las antiguas culturas de la región andina de Sudamérica. Se cultiva en una gran amplitud de ambientes, en altitudes desde los 0 hasta los 4.000 metros sobre el nivel del mar (msnm), en regiones áridas y húmedas, sobre suelos arenosos a arcillosos y pH en el rango de 4 a 9. Tolera una amplia amplitud térmica, con temperaturas en el rango de los -4 hasta 38°C (FAO, 2011). Las temperaturas bajo cero en los primeros estadios de desarrollo son peligrosas para el cultivo, pero no tanto como las que pueden llegar a ocurrir en floración, donde puede ocurrir pérdidas de rendimiento del 50% (Hinojosa, 2018).

Desde el punto de vista alimenticio posee una excelente calidad nutritiva como grano (Bergesse 2015), por ello es considerado un cultivo estratégico para contribuir a la soberanía y seguridad alimentaria mundial (FAO, 2011).

Estas características, sumadas a su adaptación a ambientes salinos y a regiones semiáridas (~ 400 mm anuales) lo hace un cultivo con gran potencial para el Valle Bonaerense del Río Colorado, en el sur de la provincia de Buenos Aires (Rivas, 2013).

Sin embargo, una de las principales dificultades a nivel local y nacional, es la escasa disponibilidad de variedades inscriptas en el registro nacional de cultivares del INASE (Gerbi, 2017). En el año 2019 y 2021, gracias al trabajo realizado por profesionales de INTA se inscribieron, en Argentina, los primeros genotipos mejorados denominados Hornillos y Morillos respectivamente. Es un gran avance para la producción de este cereal, sin embargo, queda mucho por desarrollar y generar.

Por estas razones, es necesario encontrar genotipos que se adapten a las condiciones edafoclimáticas e iniciar un proceso de selección para el desarrollo de cultivares de alto rendimiento para las condiciones del VBRC. Según los ensayos realizados en años anteriores en la localidad de H. Ascasubi, los rendimientos obtenidos para siembras tardías de la variedad Faro, fueron de ~1700 kg.ha⁻¹ (Rivas, 2018). Valores similares (~1600 kg.ha⁻¹) fueron obtenidos en ensayos en cercanías a Tandil para la misma variedad (Cogliatti, 2016).

La "Red de ensayos de quínoa" es una actividad que forma parte de uno de los proyectos estructurales de INTA (PE 516). Se realiza a nivel nacional e involucra 5 localidades distribuidas en todas las regiones del país. La EEA Hilario Ascasubi del INTA es parte de la actividad desde la campaña primavero-estival 2020/21.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento, adaptación y rendimiento de los diferentes genotipos de quínoa disponibles en la red, durante la temporada 2020/21 en el VBRC.



Materiales y métodos

El ensayo se realizó en un lote de la EEA INTA Hilario Ascasubi (S 39° 23' 44''; O 32° 37' 42'') durante el período noviembre 2020 a mayo 2021.

Se evaluaron un total de 8 genotipos, correspondientes a cultivares y líneas experimentales, en unidades experimentales (U.E) de 2,8 x 5 m, sembradas el 17 de noviembre en forma manual en hileras distanciadas a 70 cm, y con una dosis de siembra de 13 kg ha⁻¹ de semilla. Luego de la emergencia, a los 15 días, se procedió al raleo de las plantas dejando una densidad final de 5 plantas por metro lineal (~ 7,2 plantas m⁻²).

Las U.E se fertilizaron el 17 de noviembre a la siembra con 70 kg ha⁻¹ de PDA y con 80 kg ha⁻¹ de urea el 22 de diciembre, cuando el cultivo se encontraba en estadio 4 (seis hojas verdaderas) según Mujica y Canahua (1989). El control de malezas se realizó de forma manual utilizando un escardillo Clipper hasta el momento en el cual las plantas cubrieron la totalidad del surco y no se observaron emergencia de malezas.

Los genotipos evaluados y el origen de los mismos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Características de los genotipos utilizados en la red de ensayos según Curti, (2012) y Miranda, (2012).

Accesión/cultivar	Categoría	Nombre	Localidad		
			msnm	Provincia	País
BNOA 16 (CHEM 252)	Silvestre	Maimará	2.330	Jujuy	Argentina
BNOA 23 (CHEM 420)	Silvestre	Antofallita	3.500	Salta	Argentina
BNOA 4 (CHEM 182)	Silvestre	Humahuaca	2.940	Jujuy	Argentina
SAC (CHEM 426)	Silvestre	Santa Rosa Pastos Grandes	3.940	Salta	Argentina
BNOA 26 (CHEM 435)	Silvestre	Cangrejillos	3.580	Jujuy	Argentina
Morillos	Cultivar				Argentina
Hornillos	Cultivar				Argentina
Faro	Silvestre	Concepción			Chile

La cosecha de los genotipos se realizó entre marzo y mayo del 2021, colectando 5 plantas continuas ubicadas sobre la hilera central. A cada una se les tomaron registros del rendimiento por planta (g), para lo cual se procedió a la trilla y eliminación de impurezas de forma manual. Para estimar el P₁₀₀₀ (g) se promediaron 4 repeticiones de 100 semillas, multiplicando por 10 ese resultado y así obtener el valor final. Por último, el índice de cosecha (IC) fue otro de los parámetros evaluados, para lo cual se procedió a un secado en estufa (65°C durante 5 días) de tallos y hojas por un lado y panoja por el otro. Luego se trillaron las panojas, definiendo así la proporción del peso de semilla en relación al peso total de la planta.

Con la intención de incorporar los datos de producción de todos los genotipos, es que se procedió igualmente, a muestrear parcelas que no hubieran terminado su ciclo de desarrollo, para ello se realizó un secado a estufa (60°C por 5 días) con el objetivo de homogeneizar el contenido de humedad de las plantas.

Por otro lado, se registraron las fechas de inicio de cada estadio fenológico según Mujica y Canahua (1989). Asimismo, por medio de la escala visual descrita en la Tabla 2 se estimó la presencia del hongo *Peronospora farinosa* "Mildiu" sobre las hojas de 5 plantas en cada genotipo.

Tabla 2: Escala utilizada para determinar la tolerancia de cada genotipo a *Peronospora variabilis* "Mildiu".

Código	Referencia	% de afectación
1	Planta sin mildiu	0
2	Planta con Mildiu hasta el cuarto inferior.	25
3	Planta con Mildiu hasta la mitad.	50
4	Planta con Mildiu hasta el cuarto superior.	75
5	Planta con Mildiu en todas sus hojas.	100

Los datos climáticos fueron tomados de la base de datos de la estación meteorológica de la EEA INTA Hilario Ascasubi.

El diseño experimental se realizó en tres bloques con 8 tratamientos (genotipos) distribuidos al azar. Los datos se analizaron con ANOVA y test de Tukey ($p > 0,05$) con el software INFOSTAT. Los gráficos de rendimiento se realizaron con el programa GraphPad.

Resultados

- Condiciones climáticas durante el ensayo

El ciclo del cultivo comprendió los meses de noviembre 2020 a mayo 2021, en ese período de tiempo las lluvias acumuladas alcanzaron los 216 mm, mientras que el promedio histórico para la misma época de la serie de datos de los años 1966-2020 es de 337 mm.

Si observamos dentro del ciclo del cultivo la distribución de las precipitaciones, podremos ver que en los tres primeros meses (noviembre, diciembre y enero), las lluvias acumuladas (145 mm) fueron similares al promedio histórico (143 mm), mientras que, en la segunda mitad del ciclo de la quinoa, hubo una marcada diferencia de las precipitaciones, observándose un acumulado para el período febrero-mayo de 71 mm, contrastándose con los 194 mm promedio que marca la serie de registros históricos. Es decir, en el último trimestre de desarrollo del ensayo, hubo un déficit en la cantidad de agua disponible para la quinoa.

La distribución de esa agua aportada por las precipitaciones durante el ciclo, desde la siembra hasta fines de enero, época en la cual la mayoría de los genotipos ingresaba en antesis, ocurrieron el 70% de las precipitaciones, quedando de esta manera, desde antesis hasta madurez comercial el 30% restante (Fig 2). Según Hinojosa 2018, un ensayo realizado en Egipto demostró que quinoas del nivel del mar pueden perder un 56% de rendimiento con una disponibilidad de 230 mm en todo el ciclo, mientras que los genotipos del Valle toleran mejor la falta de agua, perdiendo un 15% de rendimiento para la misma cantidad de mm disponibles.

En relación a las temperaturas medias mensuales fueron bastante similares al promedio histórico (18°C), excepto el mes de abril que fue más caluroso (+30%) en comparación con la serie de datos utilizados (1966-2013). Por otro lado, no se registraron heladas tempranas en el transcurso del ciclo de crecimiento que pudieran afectar el normal desarrollo del mismo. Esto permitió entonces, que el ciclo del cultivo se desarrollara de forma completa. Sólo el genotipo BNOA 16, sufrió las consecuencias de las heladas sobre el final de su extenso ciclo de crecimiento.

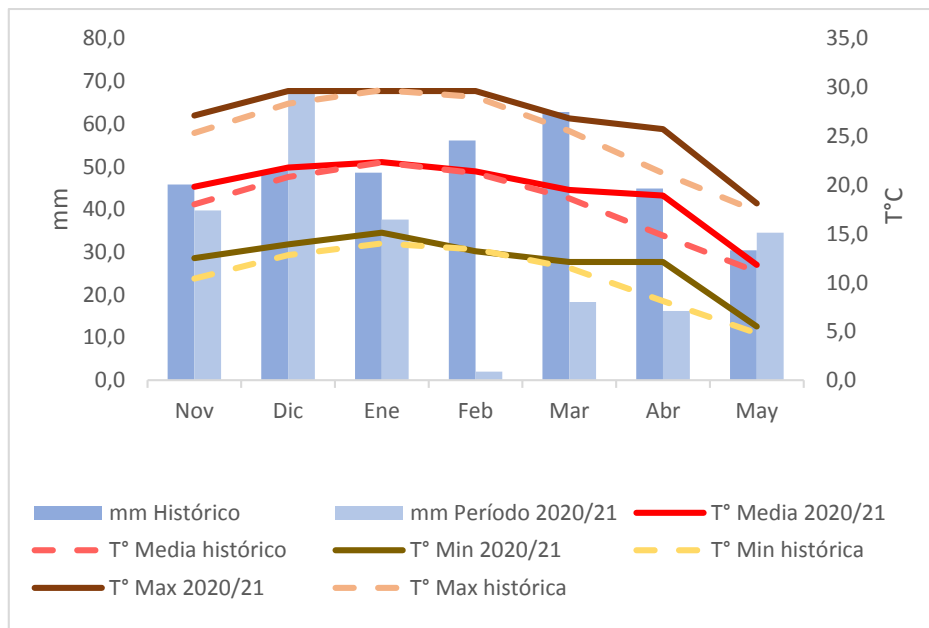


Fig 1: Distribución de las precipitaciones mensuales y temperaturas mínima, media y máxima durante el ciclo del cultivo de quínoa e históricas (1966-2020).

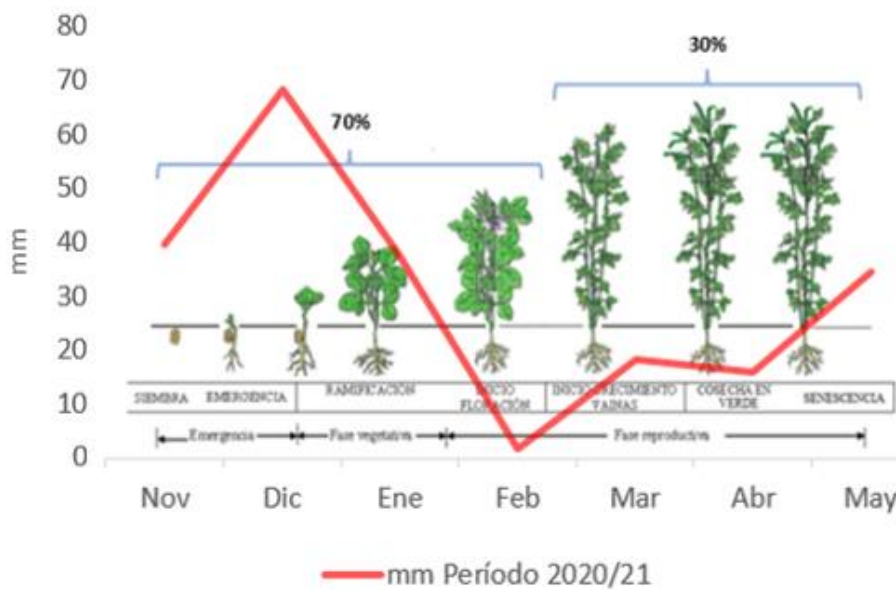


Fig. 2 Distribución de las lluvias en el ciclo del cultivo de quínoa.

Comportamiento

En promedio, la duración del ciclo de 7 genotipos que llegaron a madurez comercial, fue de 138 días desde la siembra hasta madurez de cosecha. La quínoa “Morillos” fue la más precoz, con una duración de solo 118 días, siendo “Hornillos” la de mayor tiempo con 174 días (Fig. 5). Solo un material, el BNOA 16 no logró llegar a madurez de cosecha, pero sí a madurez fisiológica. La primera helada del año, ocurrida el 5 de mayo, fue la que interrumpió el secado natural de las plantas de ese genotipo.

Estas variaciones en la duración de los ciclos, estaría relacionada con los ambientes de origen de cada material y a su sensibilidad al fotoperíodo (Bertero, 1999).

Rendimiento

Los resultados obtenidos de cada parámetro mostraron que tanto Faro, BNOA 16, Morillos y Hornillos tenían los mejores rendimientos por planta. Sin embargo, como se mencionó BNOA 16 solo alcanzó la madurez fisiológica, siendo Morillos el de mejor P_{1000} , pero solo con diferencias significativa en comparación con BNOA 16 y SAC (Fig 3). Esto, sumado a su duración en el ciclo, nos da el indicio de que son genotipos que podrían llegar a adaptarse de buena forma a las condiciones climáticas de la región, incluso, comparando los genotipos entre sí, podríamos categorizarlos para nuestra zona, como ciclo corto, intermedio y largo, sugiriendo Morillos ciclo corto (118 días), Faro intermedio (132 días) y Hornillos de ciclo largo (174).

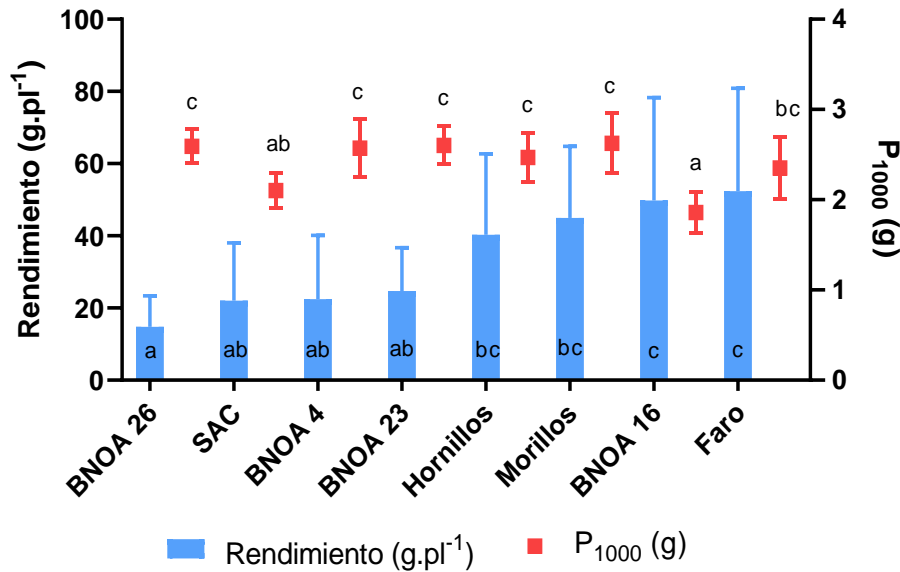


Fig 3: P₁₀₀₀ (puntos) y rendimiento promedio por panoja (barras) de los genotipos evaluados. Letras distintas indican diferencia significativa. Test de Tukey (p>0.05)

También podemos observar, que BNOA 16 tuvo un rendimiento muy bueno, sin embargo, este es el material que no logró llegar a madurez de cosecha y que posee un ciclo de crecimiento demasiado largo para las características climáticas de la región.

En cuanto al índice de cosecha (IC) (Fig 4), para los tres genotipos de mejor rendimiento, pudimos observar que, Hornillos tiene, en comparación con Faro y Morillos, el IC más bajo, sin embargo, estadísticamente no poseen diferencias significativas.

El IC, es la relación que existe entre el rendimiento de grano (grano cosechado) y la biomasa aérea total (Unkovich et al., 2010), es decir, la capacidad que posee la planta para asignar más cantidad de biomasa a la parte reproductiva que a la vegetativa (hojas y tallos) (Wnuk et al., 2014). Morillos posee el IC más alto, lo que sugiere una mayor eficiencia en la producción de grano.

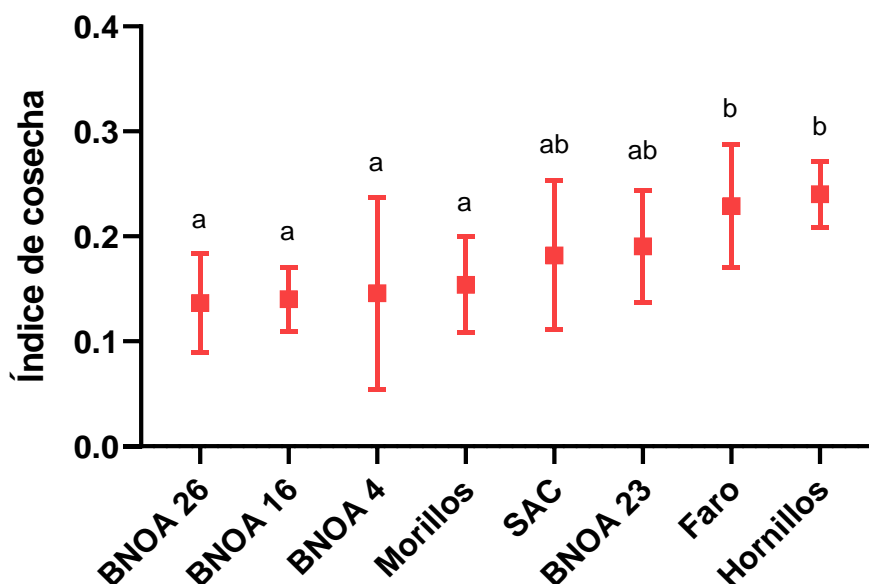


Fig 4: Índice de cosecha (puntos) de los distintos genotipos. Letras distintas indican diferencia significativa. Test de Tukey ($p > 0.05$)

Tolerancia a Mildiu

Peronospora variabilis es un hongo que afecta a la quínoa, generándole manchas en las hojas, y a medida que progresa la enfermedad esas manchas se unen provocando, en ataques severos, la defoliación total de la planta. Las condiciones predisponentes son la alta humedad relativa, nubosidad y precipitaciones continuas. (FAO, 2016)

La intención de evaluar la incidencia del Mildiu en los diferentes genotipos del ensayo fue observar el comportamiento de cada uno frente a la enfermedad.

Pudimos observar que Morillos y Faro fueron los genotipos menos afectados, mientras que BNOA 23, BNOA 4 y BNOA 26 fueron los de mayor presencia del hongo en las hojas de la planta (Tabla 3).

Tabla 3: Grado de afección de *Peronospora variabilis* en los diferentes genotipos evaluados.

Material genético	Grado de afectación
BNOA 16	2
BNOA 23	4
BNOA 4	4
SAC	3
BNOA 26	4
Hornillos	2
Morillos	1
Faro	1

Comentarios finales

Como pudimos ver a lo largo del informe, se destacan dos genotipos con potencial para la zona, Morillos y Faro, tanto por su rendimiento, como por la adaptación de sus ciclos a las condiciones climáticas de la localidad y por su tolerancia al Mildiu. A su vez, Hornillos también mostró una buena adaptación, sin embargo, su ciclo es más largo en comparación con los dos genotipos anteriores, lo que podría llegar a ser una complicación en años donde ocurran heladas tempranas, que sucede 2 o 3 de cada 10 años en promedio (Fig. 5). Para la zona de Hilario Ascasubi, el promedio de heladas inicia el 18 de abril y finaliza el 20 de octubre (serie 1968-2011).

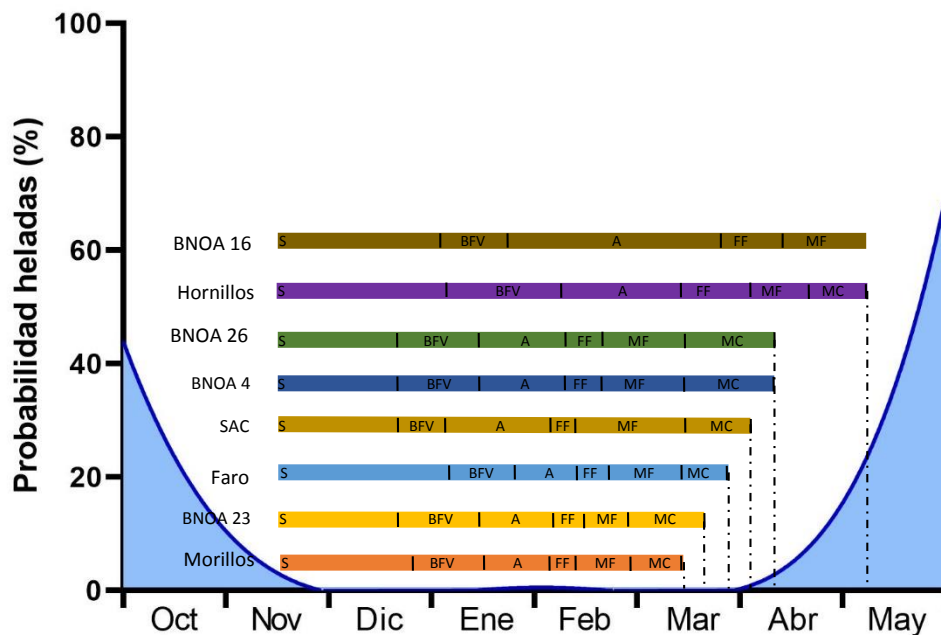


Fig 5: Probabilidad de ocurrencia de heladas en los distintos meses del ciclo del cultivo. En cada genotipo se muestra la duración de las diferentes etapas fenológicas. S (Siembra), BFV (Botón floral visible), A (Antesis), FF (Fin de floración), MF (Madurez fisiológica) y MC (Madurez comercial). Líneas punteadas muestran el momento de la cosecha de cada genotipo. Datos climáticos de la serie 2003-2020.

Por otro lado, todavía es pronto para descartar el resto de los genotipos. Es necesario seguir haciendo este tipo de ensayos para disminuir la influencia de la variabilidad climática, característica de nuestra zona, en los distintos componentes del rendimiento.

Agradecimientos

Proyecto Estructural I516 "Mejoramiento genético y desarrollo de ideotipos de cultivos industriales (CI) caña, maní, yerba, mandioca, stevia, quínoa y te para sistemas productivos resilientes".

A Juan José Agüero como coordinador de la actividad.



Bibliografía

- Bergesse, A.E., et al. (2015). Aprovechamiento integral del grano de quinoa: aspectos tecnológicos, fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales. Córdoba, Argentina. 1
- Bertero, H. D., King, R. W. & Hall, A. J. (1999). Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field crops research*, 63(1), 19-34.
- Cogliatti, M. & Heter, D. (2016). Perspectivas de producción de Quinoa en la region agrícola del centro de la Provincia de Buenos Aires. Centro de investigaciones integradas sobre sistemas agronómicos sustentables (CIISAS). Buenos Aires: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Curti, R. N., Andrade, A. J., Bramardi, S., Velasquez, B., & Daniel Bertero, H. (2012). Ecogeographic structure of phenotypic diversity in cultivated populations of quinoa from Northwest Argentina. *Annals of applied biology*, 160(2), 114-125.
- FAO. (2011). La quinoa, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Oficina Regional para América Latina y el Caribe; elaborado por PROINPA. 58 p.
- Fao. (2016). Guía de identificación y control. www.fao.org/publications
- Gerbi, P., Quiroga Mendiola, M. & Aracena, G. (2017). Estado del arte del sistema agroalimentario de la Quínoa en el NOA. IPAF región NOA. Ediciones INTA. 41 pp.
- Hinojosa, L., González, J. A., Barrios-Masias, F. H., Fuentes, F., & Murphy, K. M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. In *Plants* (Vol. 7, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/plants7040106>
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Rodríguez, M. J., Maureira, H., & Martínez, E. A. (2012). Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 72(2), 175.
- Rivas, J. C. (2013). Avances en el cultivo de Quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el sur de Argentina. Boletín técnico N°18. Ediciones INTA. 24 pp.
- Rivas, J. C. (2018). Manejo del cultivo de Quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Sur de la Provincia de Buenos Aires. Boletín técnico N°59. Ediciones INTA. 20pp.
- Sebastián, M., & Aguirre, M. (2012). Efecto del fotoperíodo sobre la duración de la fase vegetativa de tres accesiones chilenas de quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*).
- Unkovich, M., Baldock, J., & Forbes, M. (2010). Variability in Harvest Index of Grain Crops and Potential Significance for Carbon Accounting: Examples from Australian Agriculture. *Advances in Agronomy* (Vol. 105, pp. 173–219). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05005-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05005-4)
- Wnuk, A., Górný, A. G., & Bocianowski, J. (2014). Visualizing harvest index in crops. <https://www.researchgate.net/publication/262673777>.