

## **DISEÑO DE EXPERIENCIA DE CULTIVO EN SITIOS DE ALTURA PARA EVALUAR EFECTOS ALTITUDINALES SOBRE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL MAÍZ. LA RADIACION SOLAR COMO FACTOR DE ESTRÉS**

**Diego A. Salve<sup>1\*</sup>, Mariana Antonietta<sup>2</sup>, Germán A. Salazar<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>INTA-IPAF-NOA - Ruta Nacional N°9 km 1763 - CP 4622 - Maimará - Jujuy - Argentina

<sup>2</sup>INFIVE-CONICET - Diagonal 113 - Casco Urbano B1900 - La Plata - Buenos Aires - Argentina

<sup>3</sup>INENCO-CONICET- Av. Bolivia 5150-A4408FVY - Salta - Salta - Argentina

\*e-mail: [diego.s@conicet.gov.ar](mailto:diego.s@conicet.gov.ar)

*Recibido 19/08/19, aceptado 22/10/19*

**RESUMEN:** En un contexto de constante crecimiento poblacional es necesario aumentar la producción de alimentos para alcanzar la seguridad alimentaria. Esto puede lograrse mediante un incremento de la superficie cultivada o mediante la optimización de la producción de la superficie actualmente explotada, especialmente en las regiones socioeconómicamente más vulnerables. Debido a que los sistemas productivos de la región andina no están insertos en mercados formales, la información disponible sobre producción y recursos utilizados es muy escasa. Este trabajo propone realizar un relevamiento de la información existente sobre ambiente, producción y rendimiento del cultivo de maíz en sitios de altura, con el objetivo de evaluar la radiación solar como posible factor de estrés. Para ello se consultaron bases de datos nacionales de clima y rendimientos de maíz por departamento. Se observó que, a pesar de la fuerte influencia latitudinal, cuanto mayor es la altura, menor es el rendimiento del cultivo incluso cuando se realiza con riego y fertilización. Este trabajo permitió diseñar una experiencia de cultivo para evaluar la influencia de la radiación solar sobre el cultivo de maíz en sitios de altura y su relación con otros factores ambientales, para proponer prácticas de cultivo más eficientes.

**Palabras clave:** Cultivo, Maíz, Sitios de Altura, Radiación Solar, Estrés.

### **INTRODUCCIÓN**

En Argentina, los sitios de altura (mayores a 1000 m.s.n.m.) se encuentran hacia el oeste, asociados a la Región Andina. El ámbito geográfico que comprende el concepto de región andina queda estructurado fundamentalmente por el espacio organizado, desde el punto de vista físico, por la gran Cordillera de Los Andes y su área de influencia hacia el oriente, mientras que, desde el punto de vista político administrativo, abarca las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza. (Abraham y Martínez, 2000).

Tanto desde el punto de vista físico, como por su población, economía y estructuración social, la región andina argentina posee una extraordinaria complejidad. Región de contrastes naturales, lo es también de contrastes sociales intensos que se reflejan en el uso del suelo. Desde la Puna hasta la Patagonia mendocina, la ganadería (ya sea de llamas en el norte o de ovejas, cabras y vacunos en el sur) es un denominador común, en tanto que la agricultura se desarrolla donde las condiciones climáticas (temperatura, radiación solar, etc.) lo permiten (*Ibid.*).

Los elementos del clima (temperatura, radiación solar, precipitación, humedad, presión atmosférica, etc.) son modificados por los factores climáticos. La interacción entre los elementos y los factores es lo que hace que el clima cambie de un lugar a otro. Entre los factores climáticos más importantes están

la latitud y la altitud. La primera condiciona los rasgos climáticos dominantes a escala global, y la segunda modifica las condiciones definidas por la latitud a una escala local (Bautista, 2011). Por ejemplo, según la latitud, para el mismo día, el ángulo de incidencia de los rayos solares y la duración de las horas de luz determinan variaciones en el goce de radiación solar y la temperatura del aire. Mientras que, para una misma latitud, es la altitud el principal factor que modifica los valores de los elementos climáticos.

La radiación solar varía con la altitud. Para días de cielo claro, incrementa su valor pico horario (mediodía solar) y diario (irradiación) a medida que la altitud del sitio es mayor (Forero et al., 2007; Salazar et al., 2010). Esto se debe al espesor de atmósfera que la radiación solar debe atravesar para llegar a la superficie: a mayor altura, menor es el espesor de atmósfera que debe atravesar la radiación y, por lo tanto, menor es su atenuación (por absorción y dispersión). La menor absorción, reflexión y dispersión por parte de la atmósfera no sólo aumenta considerablemente la intensidad de los rayos solares a mayores alturas, sino que cambia también su composición espectral. El mayor aumento lo muestran las ondas cortas de la luz solar, es decir entre azul y ultravioleta, por lo cual, el máximo de la intensidad solar es desplazado hacia estas ondas (Prohaska, 1961; Blumthaler et al., 1997; Rivas et al., 2002).

En términos generales, el rendimiento de un cultivo está determinado por (i) la cantidad de radiación solar interceptada durante el ciclo; (ii) la eficiencia de conversión de energía solar en fotoasimilados (eficiencia de uso de la radiación, EUR, g biomasa MJ<sup>-1</sup>) y (iii) la partición de biomasa hacia los órganos cosechables (índice de cosecha, IC) (Gifford et al., 1984).

Respecto a (i), la radiación solar interceptada dependerá de las condiciones ambientales (radiación solar incidente), de las variables de manejo (fecha de siembra, densidad, distanciamiento entre surcos) y de un conjunto de variables morfofisiológicas. Entre estas últimas, cabe mencionar el índice de área foliar (IAF) integrado en el ciclo (que dependerá a su vez de la tasa de aparición de nuevas hojas, el IAF máximo y la tasa de senescencia), y el coeficiente de extinción lumínico. En condiciones óptimas, el IAF, incrementando la radiación solar interceptada, puede explicar diferencias en acumulación de biomasa observadas en maíz (Lindquist et al., 2005). En cambio, en sitios de altura, es posible que la elevada radiación solar incidente represente un factor limitante, afectando negativamente al rendimiento.

Respecto a (ii), el maíz presenta una alta EUR, que alcanza valores de 3.35 g MJ<sup>-1</sup> comparado con 1.44 g MJ<sup>-1</sup> reportados para soja en un mismo set de ensayos (Singer et al., 2011). Estos valores pueden ser incluso más altos si se optimizan las condiciones de cultivo, con reportes de hasta 3.84 g MJ<sup>-1</sup> (Lindquist et al., 2005). Sin embargo, la EUR puede disminuir ante diversas condiciones ambientales, muchas de las cuales son frecuentes en sitios de altura. La EUR de maíz se reduce al incrementarse el déficit de presión de vapor (VPD) de la atmósfera, con caídas de hasta 0.85 g MJ<sup>-1</sup> por cada kPa de aumento en el VPD, llegando a mínimos de 2 g MJ<sup>-1</sup> (Kiniry et al., 1998). Esto se relaciona directamente con efectos del VPD sobre el cierre estomático, que incluso en especies con metabolismo fotosintético C<sub>4</sub> como maíz, puede implicar limitaciones por CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis (ej. Hirasawa y Hsiao, 1999). También se han reportado caídas de la EUR ante reducciones en la temperatura (T) media (1 g MJ<sup>-1</sup> por cada 0.27°C de variación en la T media, Andrade et al., 1993). Por otra parte, la mayor amplitud térmica característica en sitios andinos podría tener un efecto adicional, debido a las bajas T nocturnas, que pueden reducir la fotosíntesis de maíz hasta en un 30%, especialmente en las primeras horas del día (Ying et al., 2000).

Por último, el rendimiento también es determinado por el índice de cosecha (iii), que depende principalmente de la fijación de granos durante el período crítico alrededor de floración (R1, Ritchie, 1991). La ocurrencia de estrés ambiental durante la fijación de granos resultará en un bajo número de granos, limitando el rendimiento independientemente del potencial fotosintético del canopeo (Borrás et al., 2004).

*Efectos del exceso de radiación solar sobre las plantas*

Una caída en la EUR debida a variables ambientales que reducen la tasa fotosintética, implica que una mayor proporción de la radiación solar absorbida no es efectivamente canalizada a través de la vía fotoquímica. Este exceso de radiación solar lejos de ser inocuo, representa un estrés adicional para la planta. La energía solar absorbida que no es canalizada por la vía fotoquímica debe disiparse por vías alternativas (“disipación no radiativa o quenching no fotoquímico”), como la vía de las xantófilas (Gilmore et al., 1995). En estas condiciones, además, puede producirse una inactivación del centro de reacción en el fotosistema II conocida como foto-inhibición, la cual puede ser transitoria o crónica, resultando en un daño al aparato fotosintético (Lu y Zhang, 2000). Por otra parte, la mayor incidencia de radiación UV en altura puede provocar daño celular; entre las respuestas de aclimatación al UV se ha observado mayor acumulación de flavonas en razas de maíz de altura expuestas a UV-B comparadas con razas estándar (Casati y Walbot, 2005).

En el presente trabajo se realizó un relevamiento de datos climáticos en sitios de altura y la producción de maíz en dichos sitios para una serie de 10 años, luego se los contrastó para reconocer diferencias y definir un diseño de cultivo que permita evaluar en qué medida la radiación solar representa un estrés para el cultivo en sitios andinos.

## MÉTODO

Se seleccionaron seis localidades de la región andina argentina con estaciones del Servicio Meteorológico Nacional ubicadas a distintas altitudes de manera que se cubra un amplio rango de alturas sobre el nivel del mar en las que se cultive maíz. En la tabla 1 se detallan las localidades seleccionadas y sus respectivas altitudes.

PROVINCIA	LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Jujuy	La Quiaca.	-22° 6'	-65° 36'	3459
Mendoza	Malargüe	-35° 30'	-69° 35'	1425
Salta	Salta	-24° 51'	-65° 29'	1221
San Juan	Jachal	-30° 14'	-68° 45'	1175
Jujuy	Jujuy	-24° 23'	-65° 5'	905
La Rioja	Chamical	-30° 22'	-66° 17'	461

*Tabla 1: Localidades de la Región Andina argentina con estaciones del Servicio Meteorológico Nacional*

Para dichas localidades, y debido a la escasez de datos de mediciones de radiación solar que permitan obtener indicadores confiables, se calculó la radiación astronómica para días promedio mensuales. Para ello se utilizaron los días promedio propuestos por Duffie y Beckman (1991).

De la base de datos abiertos del Servicio Meteorológico Nacional, se extrajeron datos de heliofanía efectiva para el período 2001-2010.

De la base de datos abiertos de agroindustria del Ministerio de Producción y Trabajo se extrajeron las estimaciones históricas de rendimiento de maíz para las localidades seleccionadas.

Se contrastaron los datos de estimaciones de rendimiento de maíz de cada localidad con la correspondiente altitud y su respectiva oferta radiativa.

Con base en lo observado, se definió un diseño de experiencia de cultivo que permitirá evaluar con mayor precisión los efectos de la radiación solar asociados a la altitud sobre el cultivo de maíz y aislarlos de posibles efectos combinados de otros factores ambientales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Resultados del análisis de datos de radiación y rendimiento de maíz por localidad*

Al trabajar con cálculos astronómicos de radiación solar, en la figura 1 queda en evidencia que el principal factor climático que interviene es la latitud. Pero, dado que para su obtención se utilizaron también datos astronómicos de heliofanía, es de esperar que, si se emplean datos medidos de duración del brillo solar efectivo, el comportamiento de la marcha anual de la radiación incidente presente variaciones.

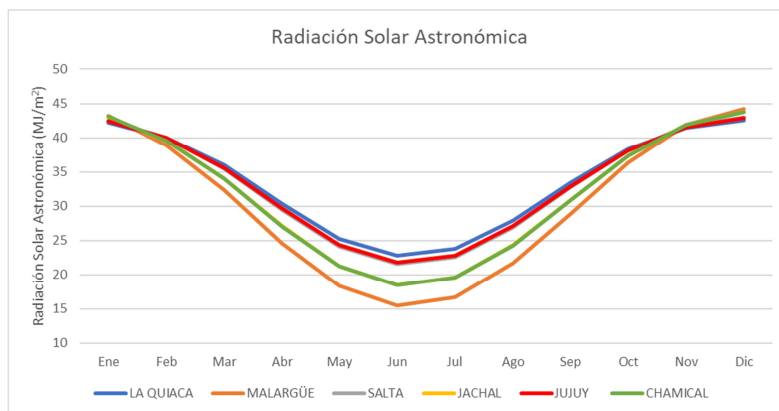


Fig 1: Marcha anual de radiación solar astronómica incidente ( $MJ/m^2$ ) para una serie de 10 años utilizando día promedio.

En la figura 2 se comparó la marcha anual de la heliofanía efectiva para las distintas localidades. Allí se observa que, para la localidad de La Quiaca (3459 m.s.n.m.), si bien es casi constante, presenta una reducción para los meses de diciembre a abril, coincidente con la estación cálida. Mientras que, en la localidad de Malargüe (1425 m.s.n.m.), en la misma estación, alcanza valores cercanos a las 12 horas de brillo solar.

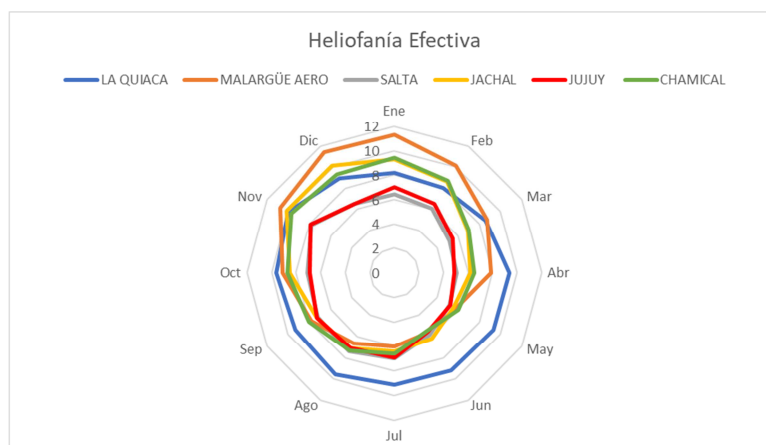


Fig 2: Marcha anual de heliofanía efectiva en horas para las distintas localidades.

A una altura sobre el nivel del mar un poco menor se encuentran Salta y Jujuy (1221 y 905 respectivamente). Ambas localidades presentan una heliofanía efectiva muy similar entre si (entre 6 y 8 horas en los meses de verano) y niveles de radiación solar incidente también similares a los de La Quiaca. Pero, al comparar las estimaciones de rendimiento de maíz con la altura (Fig 3), a pesar de similitudes en la radiación, Salta y Jujuy presentan rendimientos muy superiores a los de La Quiaca.

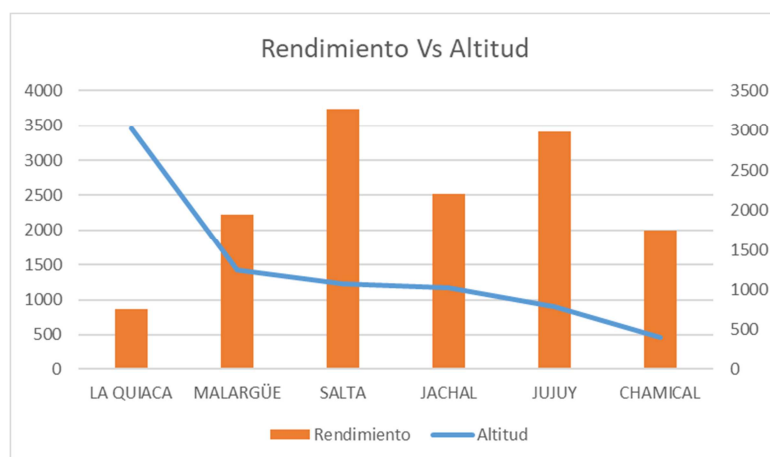


Fig 3: Promedio estimaciones históricas de rendimiento de cultivo de maíz por hectárea comparado con altura sobre el nivel del mar del sitio.

Haciendo hincapié en las localidades de La Quiaca y Salta o Jujuy, a pesar de encontrarse a latitudes muy cercanas, con niveles de radiación teórica comparables, se observa que, a menor altitud, el rendimiento de maíz casi es triplicado. Sin tener en cuenta otros factores ecológicos ni genéticos, tales variaciones podrían explicarse por efectos nocivos de la radiación solar de altura, ya sea por la composición espectral de la luz o por la duración de la exposición diaria, la cual podría afectar a otros elementos climáticos, como la temperatura o la humedad absoluta.

*¿Podrían los efectos de la altitud implicar cambios en la densidad óptima del cultivo de maíz?*

A diferencia de otros cultivos, para el maíz, la densidad de siembra determina en buena medida el rendimiento alcanzado por el cultivo. La densidad óptima (aquella que maximiza el rendimiento) así como su rango (la diferencia entre el valor mínimo y máximo de densidad óptima) varía ampliamente entre ambientes (ej., Tokatlidis et al., 2011) y entre genotipos (ej., Antonietta et al., 2014). Es por ello que la densidad de siembra recomendada por las empresas proveedoras de semillas de maíz es muy diferente según la región del país y la variedad (ej., Syngenta.com.ar), siendo usualmente menor en sitios con menor expectativa de rendimiento. En cambio, para los sitios andinos en Argentina, fuera de los objetivos de venta de las grandes empresas semilleras, prácticamente no existe información para conocer si la densidad óptima varía con la altitud.

En sitios de altura, y en ausencia de limitaciones hídricas y nutricionales, el efecto positivo de las menores temperaturas medias sobre el rendimiento resultaría en un incremento del potencial de rendimiento y, entonces, de la densidad óptima con la altura. En cambio, si es mayor el efecto de los factores de estrés sobre el cultivo, la densidad óptima se reduciría con la altitud. Alternativamente, podría existir una situación diferente y novedosa desde el punto de vista teórico, que el potencial de rendimiento sea menor en altura pero que, aun así, la densidad óptima sea mayor. En esta línea, aumentar la densidad de siembra permitiría morigerar el efecto de algunos factores de estrés. Incrementar el inter-sombreo entre plantas, podría ser una estrategia para aliviar el exceso de radiación solar incidente sobre el cultivo. Además, podría tener otros efectos positivos sobre el microclima al que están expuestas las hojas en posiciones intermedias o basales, por ej., reducción del VPD y atenuación de la amplitud térmica del ambiente.

*Diseño experimental para evaluar el efecto de la altitud sobre la densidad óptima del cultivo de maíz*

Este proyecto propone caracterizar ambientalmente, con énfasis en parámetros asociados a la radiación solar, 3 sitios localizados a latitudes similares (entre 24.93 y 23.65°) pero diferentes en altitud (entre 1330 y 3355 m.s.n.m.). A partir de estos datos, se interpretarán las respuestas morfo-fisiológicas y del rendimiento a cambios en la densidad (cantidad de plantas por línea) del cultivo de maíz realizados en estos mismos sitios. Las comparaciones entre sitios se realizarán en forma relativa, analizando el efecto producido por el incremento en la densidad de siembra. Se registrarán diversas variables meteorológicas que se modifican con la altitud y se caracterizará el microclima lumínico y térmico producido por la variación en la densidad de plantas en cada sitio.

Los 3 sitios de altura (más de 1000 m.s.n.m.) donde se desarrollarán las actividades de cultivo serán:

- i) El Rosal (Departamento de Rosario de Lerma, Provincia de Salta). Latitud =  $-24.38^\circ$  Longitud =  $-65.77^\circ$ . Altitud 3355 m.s.n.m. Este sitio se denomina ERO.
- ii) Hornillos (Departamento de Tilcara, Provincia de Jujuy) Latitud =  $-23.65^\circ$ . Longitud =  $-65.43^\circ$ . Altitud 2376 m.s.n.m. Este sitio se denomina HOR.
- iii) El Mollar II (Departamento de Rosario de Lerma, Provincia de Salta) Latitud =  $-24.93^\circ$ . Longitud =  $-65.53^\circ$ . Altitud 1330 m.s.n.m. Este sitio se denomina EMO.

Se realizarán ensayos a campo de maíz en al menos dos campañas (repeticiones interanuales por sitio). A fin de minimizar las variaciones entre sitios que no estén directamente asociadas a las condiciones meteorológicas, el cultivo se realizará con aporte de nutrientes a través de abonos orgánicos y se aplicará riego por surco según las necesidades en cada sitio y momento del ciclo. Los tratamientos consistirán en (i) 3 sitios y (ii) 2 densidades de siembra. Se utilizará la raza de maíz amarillo grande (amarillo de ocho) (Cámara Hernández et al, 2012) con semillas proveídas por INTA IPAF NOA, hábito planófilo, que crece en todo el gradiente altitudinal propuesto (J. Schimpf, comunicación personal). Las densidades de siembra serán  $5,71 \text{ pl m}^{-2}$  (densidad recomendada, Jorge Schimpf, comunicación personal) y  $8,57 \text{ pl m}^{-2}$  (ligeramente superior).

En cada sitio, se realizarán mediciones (con una frecuencia aprox. de 15 días) de fenología para conocer en qué medida los cambios en la temperatura modifican el desarrollo del cultivo a lo largo del gradiente altitudinal. Para estimar la radiación solar interceptada integrada a lo largo del ciclo se medirán la intercepción de luz por el canopeo, el índice de área foliar (IAF) hasta floración y a partir de entonces, la tasa de senescencia del canopeo.

Alrededor de floración, se realizarán mediciones no destructivas. A fin de conocer en qué medida la aclimatación de las hojas al ambiente lumínico influye sobre la EUR, se registrará el contenido de clorofila foliar mediante un medidor de clorofila SPAD en 3 hojas ubicadas en distintas posiciones en la planta y se tomarán discos de hoja para analizar el contenido de N foliar. Adicionalmente en cada sitio, se realizarán mediciones de fotosíntesis y se realizarán mediciones para estimar la proporción de energía solar incidente no utilizada por el cultivo. Estas medidas incluirán reflectancia sobre la superficie de la hoja, temperatura del canopeo, etc.

A madurez fisiológica, se determinará el rendimiento por planta y sus componentes, número de granos y peso de grano. Con estos datos se calculará la biomasa ( $\text{Kg m}^{-2}$ ), el rendimiento en granos y el índice de cosecha (IC). La EUR aparente será calculada a partir del cociente entre la biomasa acumulada durante el ciclo y la radiación interceptada.

## CONCLUSIONES

La radiación solar astronómica está asociada a la latitud en la que se evalúa. Si bien, en términos astronómicos la irradiancia es mayor en latitudes bajas, los datos medidos de heliofanía efectiva podrían equilibrar la oferta radiativa integrada en unidad de tiempo, ya que la duración del brillo solar efectivo en la estación cálida es mucho mayor en latitudes más altas.

La información disponible sobre oferta radiativa en cantidad y composición espectral para la región andina y su efecto sobre la vegetación es escasa.

La información disponible sobre rendimientos de cultivo de maíz fuera del sistema productivo pampeano es escasa. Es por ello que, a pesar de no estar detallada las variedades o razas de maíz que se consideraron para la base de datos del ministerio de agroindustria, en este trabajo se las empleó para realizar una aproximación y construcción de hipótesis.

Se propuso una experiencia de cultivo que reduzca variaciones ambientales y genéticas. Mediante la aplicación de abono y riego se reducirán variaciones ambientales, mientras que la evaluación de una raza de maíz y la provisión de semillas de un mismo pool genético por parte del INTA permitirá reducir las variaciones genéticas.

Los resultados del diseño de experiencia de cultivo permitirían diseñar estrategias de manejo (ej. arreglos de siembra) para mejorar el rendimiento y/o la eficiencia en el uso de recursos en estas altitudes. También permitiría cuantificar el efecto de la radiación en un gradiente altitudinal, lo que aportaría información útil para el mejoramiento del cultivo en estas zonas.

## REFERENCIAS

- Abraham E.M. y Martínez F.R. (2000). [en línea] Inventario de Recursos para la Planificación y Gestión de la Región Andina Argentina. Dirección URL: <<https://www.mendoza-conicet.gov.ar/ladyot/catalogo/cdandes/start.htm>> [consulta: 22 de agosto de 2019]
- Andrade, F. H., Uhart, S. A., y Cirilo, A. (1993). Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Research*, 32(1-2), 17-25.
- Antonietta, M., Fanello, D. D., Acciaresi, H. A., y Guiamét, J. J. (2014). Senescence and yield responses to plant density in stay green and earlier senescing maize hybrids from Argentina. *Field Crops Research*, 155, 111119.
- Bautista F. (2011). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. 2da. Edición. Centro de Investigación en Geografía Ambiental-Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF.
- Blumthaler, M., Ambach, W., Ellinger, R. (1997). Increase in solar UV radiation with altitude. *J. Photochem. Photobiol. B-Biol.*, 39:130–134.
- Borrás, L., Slafer, G. A., y Otegui, M. E. (2004). Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86(2-3), 131-146.
- Cámara Hernández, J., Alzogaray, A. M., Bellón, R., y Galmarini, J. A. (2012). Razas de maíz nativas de la Argentina.
- Casati, P., y Walbot, V. (2005). Differential accumulation of maysin and rhamnosylisoorientin in leaves of high altitude landraces of maize after UV-B exposure. *Plant, Cell & Environment*, 28(6), 788-799.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4ª edición, Wiley Interscience, New York.
- Forero, NL., Caicedo, LM., Gordillo, G. (2007) Correlation of global solar radiation values estimated and measured on an inclined surface for clear days in Bogotá, *Renewable Energy* 32(15), pp 2590-2602.
- Gifford, R. M., Thorne, J. H., Hitz, W. D., y Giaquinta, R. T. (1984). Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science*, 225(4664), 801-808.
- Gilmore, A. M., y Hazlett, T. L. (1995). Xanthophyll cycle-dependent quenching of photosystem II chlorophyll a fluorescence: formation of a quenching complex with a short fluorescence lifetime. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(6), 22732277.
- Hirasawa, T., y Hsiao, T. C. (1999). Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research*, 62(1), 53-62.
- <https://www.syngenta.com.ar/fechaydensidaddesiembra0>. Último acceso, 26/08/2019.
- Kiniry, J. R., Landivar, J. A., Witt, M., Gerik, T. J., Cavero, J., y Wade, L. J. (1998). Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. *Field Crops Research*, 56(3), 265-270.
- Lindquist, J. L., Arkebauer, T. J., Walters, D. T., Cassman, K. G., y Dobermann, A. (2005). Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal*, 97(1), 72-78.
- Ministerio de Producción y Trabajo. [en línea]. Datos abiertos agroindustria. Dirección URL: <https://www.agroindustria.gov.ar/datosabiertos/> [consulta: 22 de agosto de 2019]
- Prohaska, FJ. (1961). Algunos aspectos del clima de la Alta Cordillera y de la Puna Argentina. *Boletín de estudios geográficos*, (30).
- Ritchie, J. T. (1991). Specifications of the ideal model for predicting crop yields.
- Rivas, M., Rojas, E., Cortés, J., Santander, E. (2002). Efecto de la altura en la radiación solar ultravioleta en Arica norte de Chile. *Revista Facultad de Ingeniería - Universidad de Tarapacá*, 10, 59-62.

- Salazar, G.A., Hernández, L.A., Saravia, L.R. (2010). Practical models to estimate horizontal irradiance in clear sky conditions: Preliminary results. *Renewable Energy* 35 (11), pp. 2452-2460.
- Servicio Meteorológico Nacional. [en línea] Datos abiertos. Dirección URL: <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos> [consulta 19 de agosto de 2019]
- Singer, J. W., Meek, D. W., Sauer, T. J., Prueger, J. H., y Hatfield, J. L. (2011). Variability of light interception and radiation use efficiency in maize and soybean. *Field Crops Research*, 121(1), 147-152.
- Tokatlidis, I. S., Has, V., Melidis, V., Has, I., Mylonas, I., Evgenidis, G., ... y Fasoula, V. A. (2011). Maize hybrids less dependent on high plant densities improve resource use efficiency in rainfed and irrigated conditions. *Field Crops Research*, 120(3), 345-351.
- Ying, J., Lee, E. A., y Tollenaar, M. (2000). Response of maize leaf photosynthesis to low temperature during the grain-filling period. *Field crops research*, 68(2), 87-96.

## **CROPPING EXPERIENCE DESIGN IN HIGH ALTITUDE SITES TO ASSESS ALTITUDINAL EFFECTS ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF MAIZE. SOLAR RADIATION AS A STRESS FACTOR**

**ABSTRACT:** In a context of constant population growth it is necessary to increase food production to achieve food security. This can be achieved by increasing the cultivated area or by optimizing the production of the currently cultivated area. Because the agricultural systems in the Andean region are not inserted in formal markets, the available information on yields and resource use efficiency is very scarce. This paper proposes to carry out a survey of the existing information on the environment, production and yield of maize crop at high altitude sites, with the aim of evaluating solar radiation as a possible stress factor. For this, national databases of climate and maize yields were consulted by department. It was observed that, despite the strong latitudinal influence, the higher the height, the lower the crop yield despite avoiding water and nutritional stress. This work allowed us to design a cultivation experience to evaluate the influence of solar radiation on the cultivation of maize at high altitude sites and its relationship with other environmental factors, in order to propose more efficient cultivation practices.

**Keywords:** Crop, Maize, High Altitude Sites, Solar Radiation, Stress.