

## **Plasticidad vegetativa-reproductiva y su aporte al rendimiento de maíz sembrado en ultra baja densidad en el Valle de Lerma, Salta, Argentina.**

**Valdez Naval, G.**

INTA. Ruta provincial 68, km 72. Cerrillos, Salta, Argentina. [Valdeznaval.gabriela@inta.gob.ar](mailto:Valdeznaval.gabriela@inta.gob.ar)

Vegetative and reproductive plasticity and its contribution to yield in maize planted in ultra-low density in Valle de Lerma, Salta

### Abstract:

El crecimiento de la superficie sembrada con maíz en el Valle de Lerma se debió a la demanda de alimento en cantidad y de calidad de la actividad pecuaria. Se evalúan prácticas de manejo que mejoren los rendimientos alcanzables.

El maíz se cultiva a secano y existen restricciones hídricas, edáficas o ambas. La siembra en ultra baja densidad (UBD) permite mejorar la disponibilidad de agua del cultivo, compensar el rendimiento por la plasticidad vegetativa o reproductiva de los híbridos y mejorar el margen bruto.

Se desconoce el comportamiento de la plasticidad del maíz sembrado en UBD y su aporte al rendimiento, razón por la cual se realizó un ensayo en la Estación Experimental de INTA Salta (24° 53' 35,68'' S – 65° 28' 26,02'' O) con cuatro híbridos que expresan plasticidad, sembrados en dos densidades: 60.000 (BD) y 30.000 plantas ha<sup>-1</sup> (UBD). Se evaluó el aporte de cada componente de plasticidad: espigas sub apicales (E.Sap) y de macollo (E.mac) al total de espigas, rendimiento total y de cada componente y peso de mil semillas de cada componente.

Las E.sap aportaron en BD=13-34% y en UBD= 27-48 %, las E.mac en BD=2% y UBD= 5%. El rendimiento promedio: BD = 9.156 kg ha<sup>-1</sup> y en UBD= 7.246 kg. ha<sup>-1</sup>. Se expresó el aporte significativo al peso de granos de los distintos componentes y del P1000.

### **Introducción.**

El Valle de Lerma (provincia de Salta) caracterizado por la producción de leche, experimentó en los últimos años, un fuerte proceso de intensificación de la actividad pecuaria. La terminación de animales en corral y la producción intensiva de cerdos y pollos repercutió en una mayor demanda de alimentos de calidad y en cantidad. Las características del cultivo de maíz, permiten satisfacer los requisitos de la demanda de alimentos, motivo por el cual se observó el crecimiento de la superficie sembrada con maíz durante la última década (MAGyP, 2022).

El Valle de Lerma se ubica entre los paralelos 24° 30' y 25° 37' de latitud sur y los meridianos 65° 22' y 65° 40' oeste, a una altitud entre los 1100 y 1450 m. Es una llanura aluvial originada por el aporte continuo de sedimento de los ríos que descienden del relieve montañoso (Vargas Gil.,1999) y abarca una superficie de 170.000 has.

El clima según método de Thornthwaite (1948) es mesotérmico, se observa la amplitud diaria y estacional de las temperaturas. Las precipitaciones son orográficas con gradiente decreciente de oeste (1400 mm) a este (400 mm) (Bianchi y Yáñez, 1992). El 90 % de las precipitaciones se concentran entre mediados de octubre y abril (Vargas Gil, 1999), observándose, además, la variabilidad interanual de las mismas de 40 % (Bianchi y Yáñez, 2005). Desde el punto de vista termal, De la misma manera se observa la característica de amplitudes térmicas diaria y estacional.

El Valle se caracterizan por la gran variabilidad edáfica (Nadir y Chafatinos, 1990), con diferencias en las propiedades físicas y químicas. En la carta de suelos del Valle de Lerma (Vargas Gil, 1999) se identifican nueve series de suelos englobadas en siete tipos de suelos según el sistema americano de clasificación “Soil Taxonomy” (USDA, 1990).

El maíz se cultiva, principalmente en condiciones de secano, por lo tanto, el volumen y la distribución de las precipitaciones constituyen una limitación para el crecimiento y desarrollo del cultivo. Si este factor se combina con las características edáficas que restringen el almacenamiento y la disponibilidad de agua para el cultivo (textura, profundidad del suelo, presencia de estados masivos), aumenta la limitante para la producción de granos (Otegui et al., 1995) y se compromete el rendimiento.

El rendimiento real histórico del Valle de Lerma fue de 5800 Kg ha<sup>-1</sup>, observándose un incremento durante los últimos tres años, que se mantuvo en 6900 kg ha<sup>-1</sup> (MAGyP, 2022). Esta mejora en los rendimientos se debió a la genética empleada y a prácticas de manejo.

La densidad de siembra (Cerrudo et al., 2013) y la fecha de siembra son prácticas que permiten optimizar las condiciones del ambiente para lograr el mejor rendimiento alcanzable (Van Ittersun et al., 2003).

En condiciones de secano con mayores limitaciones (edáficas o variación interanual de precipitaciones), donde los rendimientos reales son inferiores a los potenciales y el productor desarrolla la aversión al riesgo, se busca ajustar la densidad de siembra (Grassinni et al., 2015) para mejorar la disponibilidad de agua asociada a las precipitaciones y el suelo. En esta línea, la siembra en ultra baja densidad (UBD), que consiste en disminuir la densidad de siembra a la mitad de la densidad convencional, combinada con fechas de siembra tardías, sería una estrategia de manejo a evaluar porque la disminución de la densidad permite, además, mejorar el margen bruto en zonas donde la variación interanual de las precipitaciones es elevada (Rotili et al., 2020, 2021).

Los híbridos empleados en esta práctica de UBD, deben expresar adaptación a las condiciones restrictivas del ambiente a través de la plasticidad vegetativa o reproductiva. La plasticidad vegetativa se refiere a la capacidad de emitir tallos secundarios fértiles (macollos fértiles) y la plasticidad reproductiva consiste en el desarrollo de múltiples espigas en el tallo principal (prolificidad).

Los híbridos con este comportamiento muestran mejor adaptación a las condiciones restrictivas del ambiente que los híbridos no plásticos (un tallo y una espiga por planta) y en el caso que la condición restrictiva mejore, por ejemplo, mayores precipitaciones, la plasticidad permite compensar el rendimiento ante la disminución de la densidad de plantas. Algunos híbridos modernos pueden expresar la plasticidad a bajas densidades de siembra y ambientes específicos (Rotilli et al., 2021)

En el Valle de Lerma existen zonas con rendimientos inferiores a 7.000 kg ha<sup>-1</sup> debido a las condiciones de bajas precipitaciones, edáficas o a ambas (Maddonni et al., 2021) en las cuales esta estrategia de manejo podría implementarse, pero hasta el momento se desconoce la expresión de la plasticidad de los híbridos (fenotipos) cuando

se siembran en ultra baja densidad y los rendimientos que se pueden alcanzar.

Objetivos de trabajo: Evaluar en el Valle de Lerma la expresión de la plasticidad vegetativa y reproductiva de cuatro fenotipos de maíz sembrados en ultra baja densidad y medir el rendimiento de grano.

Hipótesis de trabajo: el empleo de genotipos con plasticidad vegetativa y/o reproductiva sembrados en ultra baja densidad compensa a través de un mayor número de espigas por planta el rendimiento comparado con la baja densidad.

### **Materiales y Métodos**

El ensayo se realizó en la Estación Experimental INTA Cerrillos, ubicada en Ruta Nacional 68 - Km 172 (24° 53' 35,68'' S – 65° 28' 26,02'' O) departamento Cerrillos, Salta.

El suelo del sitio de ensayo correspondía a la serie San Miguel, suelo franco, con porcentaje de limo de 47%, ligeramente alcalino, sin problemas de salinidad. El contenido de materia orgánica, nitrógeno total y magnesio era bajo a regular y podía presentar limitaciones para el crecimiento del cultivo, mientras que la provisión de fósforo, calcio y potasio no representaba limitaciones para el cultivo (Ortega y Corvalán, 2001).

En el perfil del suelo se observaba la presencia de una discontinuidad litológica, correspondiente a un horizonte de arena y piedra (espesor 30 cm) lo que constituye una limitación para el almacenamiento del agua y el crecimiento de raíces. En general presentaba buen drenaje, con moderada permeabilidad y presencia de carbonatos en profundidad.

La limitación genética se agudiza por efecto de las labranzas y la falta de actividad biológica, lo que se evidenció en el perfil cultural (Gautronneau et al., 1996). En los primeros 5 cm se observaban terrones con fisuras fácilmente disgregables, con estructura laminar ligeramente planchada. Entre los 5-15 cm de profundidad, predominaban los terrones de aspecto continuo, difícilmente disgregables, característica que representa un impedimento físico para el crecimiento de las raíces, las cuales sólo pueden hacerlo por los planos de debilidad o grietas. Por último, entre los 15-30 cm de profundidad se encontraba una capa masiva, producto de las labranzas, que representaba un importante impedimento para el crecimiento de las raíces (Figura 1)



Figura 1. Perfil del suelo (izquierda) y perfil cultural (derecha) del sitio de ensayo.

Se evaluaron cuatro híbridos comerciales definidos por los semilleros. Sus características de plasticidad vegetativa y/o reproductiva se detallan a continuación:

- Dekalb 72-10 VT3P (DK7210) híbrido templado adaptado a la región norte, de

ciclo corto de 122 días a MR. Expresa plasticidad reproductiva por prolificidad.

- Dekalb 79-10 VT3P (DK7910): híbrido con sangre tropical y templada, de ciclo intermedio, 129 días a madurez relativa. Expresa plasticidad reproductiva (prolificidad) y vegetativa (generación de macollos), lo que lo hace competitivo en zonas de bajo y mediano potencial de rendimiento.
- Pioneer 2353 PWU (P2353): cruza de templado por tropical, ciclo intermedio (126 días a madurez relativa). Es un híbrido no prolífico con capacidad de generar abundantes macollos de buena fertilidad.
- Pioneer 2089 VYHR (P2089): híbrido templado adaptado al norte, no produce macollos y tiene baja prolificidad, pero se evalúa por la flexibilidad de la espiga, denominada espiga flex.

Las densidades evaluadas fueron: 60.000 ptas. ha<sup>-1</sup> (BD) y 30.000 ptas. ha<sup>-1</sup> (UBD)

El diseño del ensayo fue en bloques completamente aleatorizado con tres repeticiones. Se sembraron 24 parcelas experimentales de 4 surcos, distanciados a 0,52 m y 5 m de longitud (10,4 m<sup>2</sup>).

#### Manejo del cultivo

La preparación de suelo se realizó con cincel y rastra liviana. La siembra se hizo de forma manual, el 26 de enero del 2021.

En pre-emergencia del cultivo se aplicó la mezcla de Atrazina (1kg ha<sup>-1</sup>) y Metolaclor (1l ha<sup>-1</sup>) y en post-emergencia se hicieron dos aplicaciones para el control de malezas, la primera aplicación en V5 (Ritchie y Hanway, 1982) con una mezcla de Glifosato (2 l ha<sup>-1</sup>) y Atrazina (1 kg ha<sup>-1</sup>) y la segunda aplicación dirigida de Glifosato (2 l ha<sup>-1</sup>) en V13.

Se realizó la aplicación de fungicidas en dos momentos del ciclo en V10-11 y en VT-R1 con la mezcla de Azoxistrobina (0,5 l ha<sup>-1</sup>), Azoxistrobina - Benzovindiflupyr (0,3 kg ha<sup>-1</sup>) y aceite.

La fertilización se realizó en V6-V7, se incorporaron 100 kg de N ha<sup>-1</sup> en forma de urea.

#### Variables medidas

*Variables meteorológicas:* temperatura mínima, máxima y media, precipitaciones acumuladas y la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) como indicador de la demanda del ambiente (Dardanelli et al., 2003). Con los datos de temperatura se calcularon los grados días para una temperatura base de 10°C (GDb10) como la diferencia de temperatura media y la temperatura base 10.

#### *Variables de cultivo:*

a) Número de plantas por parcela previo a la cosecha y luego se extrapoló al número de plantas por hectárea (plantas ha<sup>-1</sup>).

b) Componentes de plasticidad en los 2 surcos centrales al momento de la cosecha: número de espigas apicales (E.ap), espigas sub-apicales (E.sap) y espigas de macollos fértiles (E.mac) y se dispusieron en bolsas separadas. Se expresó el número de cada componente por planta y se consideró el número total de espigas por hectárea.

c) Peso de granos de cada componente (R.E.ap, R.E.sap y R.E.mac), peso de 1000 semillas (P1000) y la humedad del grano para luego expresar el rendimiento en granos (kg ha<sup>-1</sup>) y el P1000 al 0% de humedad.

#### Análisis estadístico

El análisis de la varianza se hizo con el programa INFOSTAT (2020) y la comparación de medias con el test LSD Fisher con un grado de confianza del 95%.

#### **Resultados**

Las precipitaciones acumuladas durante el ciclo de cultivo fueron 542 mm, 21 %

inferior al promedio anual de una serie histórica de 34 años (Bianchi y Yañez, 1992).

Previo a la siembra se registraron dos precipitaciones (29/12 y 17/01) mayores a 40 mm que permitieron acumular agua en el perfil. Luego de la siembra, las precipitaciones fueron de poco volumen, pero con distribución uniforme hasta la primera quincena de abril, momento en que se interrumpieron (Figura 2).

La demanda atmosférica, expresada por la ETo (línea punteada), fue superior a la disponibilidad hídrica entre siembra y V6, lo que determinó que el balance hídrico ambiental fuese negativo en dos momentos, situación que se revirtió entre V6 y R4.

Las temperaturas medias descendieron paulatinamente a partir del mes de abril y las temperaturas máximas registradas no superaron los 35°C. Los grados días acumulados durante el ciclo de cultivo fueron 1481, entre siembra-V6 hubo 643 GD y entre V6-VTR1 282 GD.

Durante el mes de junio, se registraron heladas de poca duración en dos momentos del mes de junio, la temperatura más baja fue de -3.7°C.

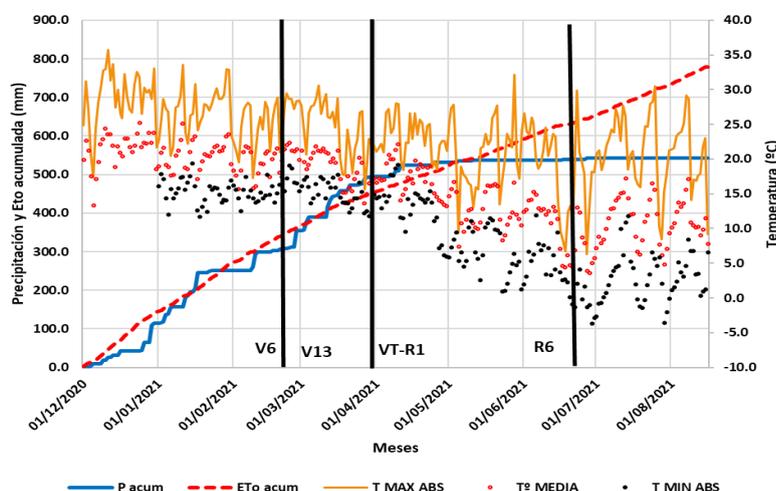


Figura 2. Variables meteorológicas acumuladas durante el ciclo del cultivo y períodos críticos para la expresión de plasticidad (Fuente: EMA Cerrillos, INTA. Campaña 2020-2021).

Las plantas logradas a cosecha fueron 54.167 plantas ha<sup>-1</sup> (mín=50.000-máx=59615) para el tratamiento de BD y 29.647 plantas ha<sup>-1</sup> (mín=25.000- máx= 36.538) en UBD.

El número de espigas subapicales planta<sup>-1</sup> (Tabla 1) varió con diferencias estadísticas altamente significativas debidas al cambio de densidad (p<0,0001) y al híbrido (p<0,0001). La media de espigas subapicales en tratamiento BD= 0.33 espigas planta<sup>-1</sup> y en UBD= 0.77 espigas planta<sup>-1</sup>. El híbrido que desarrolló menor número de espigas fue P2353 (0,28 E.sap planta<sup>-1</sup>).

Las espigas de macollo mostraron diferencias altamente significativas debidas al híbrido (p<0,0001) y significativas al disminuir la densidad (p=0,0348) y por la interacción híbrido x densidad (p=0,0358). En el tratamiento BD se midieron 0,02 E.mac planta<sup>-1</sup> y en UBD 0,04 E.mac planta<sup>-1</sup>, se destacó el híbrido P2353 por su capacidad de diferenciar espigas fértiles en macollos.

El aporte de las espigas sub apicales al número total de espigas osciló entre 13-34% en el tratamiento BD, aumentando el aporte entre 27-48 % en UBD. El aporte de las espigas del macollo con respecto al número total fue 2% en tratamiento BD y 5% en UBD.

Tabla 1. Componentes de plasticidad y rendimiento en tratamientos de Baja y Ultra Baja Densidad de siembra de maíz.

Híbrido	Trat	Total de espigas (N° ha <sup>-1</sup> )	E.sap (N°p <sup>-1</sup> )	E.mac (N°p <sup>-1</sup> )	R.E.ap (kg ha <sup>-1</sup> )	R.E.sap (kg ha <sup>-1</sup> )	R.E.mac (kg. ha <sup>-1</sup> )	R total (kg. ha <sup>-1</sup> )
DK 7210	BD	81.410	0,47	0 c	7.325	1.359	0	8.684
	UBD	51.282	0,91	0 c	4.714	2.273	0	6.986
DK 7910	BD	82.692	0,80	0 c	7.499	1.959	0	9.458
	UBD	75.000	0,95	0 c	4.358	3.327	0	7.684
P 2353	BD	62.820	0,15	0,05 b	7.715	515	80*	8.310
	UBD	51.282	0,41	0,13 a	5.806	798	122*	6.791
P 2089	BD	75.000	0,45	0,01 bc	8.524	1.642	9	10.171
	UBD	57.051	0,80	0,02 bc	4.885	2.632	9	7.524

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). \*indica diferencias estadísticas altamente significativas.

El rendimiento promedio del ensayo fue 8.201 kg. ha<sup>-1</sup>, los tratamientos de BD y UBD rindieron 9.156 kg ha<sup>-1</sup> y 7.246 kg. ha<sup>-1</sup> respectivamente.

El rendimiento de grano de las espigas apicales mostró diferencias altamente significativas al cambio de densidad ( $p < 0,0001$ ), tratamiento BD= 7.766 kg ha<sup>-1</sup> y en UBD= 4.941 kg. ha<sup>-1</sup>, mientras que no se observaron diferencias por efecto del híbrido ni en la interacción híbrido x densidad ( $p = 0,0619$ ,  $p = 0,1381$  respectivamente).

El rendimiento de granos de las espigas subapicales expresó diferencias estadísticas significativas debidas al híbrido ( $p = 0,0001$ ), según se detalla: DK7910= 2.643 kg. ha<sup>-1</sup>, P2089 = 2.137 kg. ha<sup>-1</sup>, DK 7210= 1.816 kg. ha<sup>-1</sup> y P2353= 656 kg ha<sup>-1</sup>. La diferencia de rendimiento entre densidades (39%) fue estadísticamente significativa ( $p = 0,0010$ ) en BD=1.369 kg ha<sup>-1</sup> y UBD=2.257 kg ha<sup>-1</sup>, no observándose diferencias estadísticas para la interacción híbrido x densidad ( $p = 0,4084$ ).

Por último, las diferencias observadas en el rendimiento de granos de las espigas del macollo, fueron estadísticamente significativas por efecto del híbrido ( $p = 0,0005$ ), destacándose el híbrido P 2353 por su capacidad de producir espigas fértiles en macollos sembrado en UBD (Figura 3).

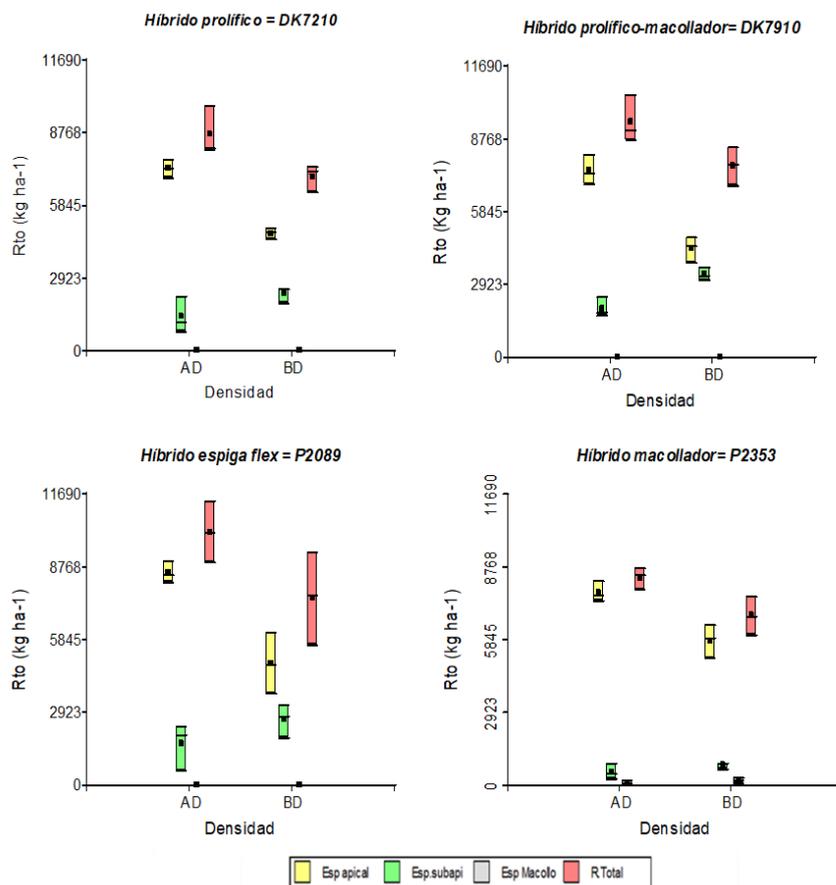


Figura 3. Aporte de los componentes de plasticidad de cada híbrido al rendimiento de maíz en función de la densidad.

El peso de 1000 semillas de los híbridos evaluados aumentó con la disminución de la densidad de siembra (no se grafica), el incremento de esta variable fue altamente significativo para el caso de las espigas apicales ( $p < 0,0001$ ) y significativo para espigas sub apicales ( $p = 0,0004$ ), mientras que el incremento del P1000 en espigas del macollo, se explicó por el híbrido.

### Discusión

Durante el ciclo de cultivo, se observó el desarrollo de tallos secundarios o macollos en los 4 híbridos evaluados, en el caso de los híbridos Dekalb se desarrollaron principalmente en las plantas que recibieron mayor insolación por encontrarse en el inicio de la parcela o sin competencia entre plantas (Rotilli et al., 2021). El híbrido P2089, que fue seleccionado por su espiga flex y no por el carácter macollador, expresó la plasticidad vegetativa, aunque en baja proporción. El híbrido P2353 macolló en ambos tratamientos, pero la expresión de la plasticidad vegetativa fue 50 % más alta en el tratamiento UBD, aunque sólo macollaron el 11,5 % de la población total.

Rotilli et al. (2021) cita que las condiciones que favorecen la expresión de macollos son la suma térmica (500-750 grados días) entre germinación a V10, la disponibilidad de agua y nitrógeno en estados tempranos de crecimiento que incrementa la tasa de crecimiento y la baja densidad de plantas que favorecen la llegada de radiación a la base de los tallos. En el caso del ensayo no hubo restricciones térmicas, ya que los grados días se encontraron dentro de los valores citados por Rotilli et al (2021) y la densidad fue la mitad de la densidad convencional, pero sí pudo haber influido en la poca expresión de la plasticidad vegetativa del híbrido macollador la poca

disponibilidad de recursos hídricos y nutricionales al inicio del cultivo. Las precipitaciones registradas antes de la siembra no fueron suficientes para cargar el perfil hasta el metro de profundidad y las que ocurrieron hasta V6 no alcanzaron para cubrir la demanda ambiental y, por otro lado, la fertilización con N se realizó en V6, próximo al momento de inicio de elongación de tallos y cese de aparición de macollos.

Luego de V6 si bien las precipitaciones fueron de poco volumen e intensidad (menos de 30 mm por evento), estuvieron bien distribuidas, lo que favoreció la infiltración y acumulación de agua en el perfil del suelo. Por lo tanto, la disponibilidad de recursos a partir de V6 fueron favorables para la expresión de la plasticidad reproductiva, lo que se evidenció en la relación de las espigas subapicales con respecto a las apicales en ambos tratamientos.

En el híbrido macollador (P2353), la suma de las espigas subapicales y las del macollo en relación con las espigas apicales y el aporte de sus granos al rendimiento fueron menores que los citados por Rotilli et al. (2021), lo cual se explicaría por una baja eficiencia reproductiva de los macollos (Rotilli et al., 2020) y la competencia de los tallos sobre el tallo principal que compromete el cuajado de tallos en espigas subapicales.

Al momento de la cosecha también se observaron macollos en los cuales la inflorescencia apical presentaba estructuras similares a los pistilos granados, lo cual se debería a condiciones ambientales y hormonales que explicarían la poca fertilidad de los macollos desarrollados (Irish, 1996 citado en Rotilli, 2021).

El P1000 se incrementó con la disminución de la densidad. En el caso del híbrido macollador (P2353), se observó que el P1000 de las espigas del macollo superó al de las espigas sub-apicales.

Las espigas contabilizadas en el tratamiento UBD fue menor al del BD, lo que influyó en el rendimiento promedio, en el tratamiento BD fue 21 % mayor que el del tratamiento UBD, encontrándose dentro del valor reportado por Rotilli et al. (2021) en ensayos ubicados en la zona semiárida de la provincia de la Pampa, Argentina.

### **Conclusión**

El ensayo de UBD se instaló en un sitio que por la génesis del suelo y el efecto antrópico, presentaba limitaciones para el crecimiento de las raíces y la disponibilidad de agua para el cultivo. Sin embargo, el comportamiento particular de las precipitaciones durante la campaña 2021, no permitió que se expresen dichas limitaciones.

El balance hídrico ambiental favoreció el crecimiento del cultivo a altas tasas, lo que permitió el desarrollo de espigas subapicales, incluso en el tratamiento de BD sembrados a la densidad óptima recomendada por los semilleros. Incluso el rendimiento de los híbridos sembrados a UBD fue superior al promedio real de la zona.

Hubo compensación del rendimiento por parte de las espigas sub-apicales y de macollos ante la disminución de la densidad de siembra.

El P1000 compensó de manera importante la disminución de la densidad de siembra y se expresó en función de los componentes de la plasticidad.

La siembra en UBD podría resultar de interés para zonas donde se realiza un manejo defensivo por aversión al riesgo.

Restaría conocer mejor los mecanismos que definen la expresión de plasticidad y el efecto del ambiente sobre cada uno de ellos y estudiar más en detalle la dinámica de agua en el suelo cuando se siembra en UBD.

### **Agradecimientos**

Este experimento forma parte del GET Red de ultra baja densidad de maíz (<https://www.agro.uba.ar/GET/reduba-demaiz/divulgacion>).

### Referencias bibliográficas.

- Bianchi, A.R. y C.E. Yáñez, 1992. Las precipitaciones en el Noroeste Argentino. 2 da edición. INTA, EEA Salta. 384 pp.
- Bianchi, A.R., Yáñez, C. E. y Acuña, L.R. 2005. Base de datos mensuales de precipitaciones del noroeste argentino. Proyecto Riesgo Agropecuario. INTA-SAGPyA. P:34-35
- Cerrudo, A., di Matteo, J.A., Fernandez, E., Robles, M., Pico Olmedo, L. y Andrade, F.H., 2013. Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning.
- Dardanelli, J., Collino, D., Otegui, M. E. y Sadras, V. O. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed: Facultad de agronomía. UBA. ISBN 950-29-071.3-2
- Grassini, P., Specht, J., Tollenaar, T., Ciampitti, I. y Cassman, K.G., 2015. High-yield maize-soybean cropping systems in the U.S. Corn belt. En: Sadras, V.O. y Calderini, D. F. (Eds.), Crop Physiology- Applications for Genetic Improvement and Agronomy, 2nd edition. Elsevier, Netherlands. Hernández, F., Amelong, A., Borrás, L., 2014.
- Crop Ortega A. y E. Corvalán, 1999. Diagnóstico de Suelos. Laboratorio Central de Análisis. INTA. EEA Salta. 3 pp.
- Gautronneau, Y., Manichon, H., Herve, D. y Ramos, D. 1996. Guía metódica de I perfil cultural. La Paz, IBTA-ORSTOM, Informe N° 54,27 p.
- Geoportal IDESA, 2022. Disponible en: <http://geoportal.idesa.gob.ar>
- Maddonni, G.A., Parco, M., y Rotili, D.H. 2021. Manejo de la estructura del cultivo de maíz en ambientes marginales de Argentina. Rev. Facultad de Agronomía UBA, 41 (2) 90-105.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. 2022. Estimaciones Agrícolas. Obtenido de: <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>.
- Nadir, A. y Chafatinos, T. 1990. Adecuación a un Sistema de Información Geográfica del estudio "Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy). [Dvd]. Convenio INTA-UNSa. 2009. Salta: Ediciones INTA, 2009. ISBN: 978-987-25050-8-0. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/prorenea/info/suelos.htm>
- Otegui, M.E. 1995. Prolificacy and grain yield components in modern Argentinean maize hybrids. Maydica 40, 371–376.
- Ritchie, S. W., Hanway, J. J., & Benson, G. O. (1982). How a com plant develops. *Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extensión Service Ames, Iowa. Special Report*, (48)
- Rotili, D.H., deVoil, P., Eyre, J., Serafin, L., Aisthorpe, D., Maddonni, G.A. y Rodriguez, D., 2020. Untangling genotype x management interactions in multi-environment on-farm experimentation. Field Crops Research. 255, 107900.
- Rotili, D.H., Sadras, V.O., Abeledo, L.G., Ferreyra, J.M., Micheloud, J.R., Duarte, G., Girón, P., Ermácora, M. y Maddonni, G.A. 2021. Impacts of vegetative and reproductive plasticity associated with tillering in maize crops in low-yielding environments: A physiological framework. Field Crops Research. 265. 108107
- van Ittersum, M. K., Leffelaar, P. A., Van Keulen, H., Kropff, M. J., Bastiaans, L., & Goudriaan, J. (2003). On approaches and applications of the Wageningen

- crop models. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 201-234.
- Vargas Gil, J. 1999. Carta de suelos de la República Argentina. Provincia de Salta. Valle de Lerma. Hoja 7 Cerrillos. Ediciones INTA
  - Vargas Gil, J. y I. Nieva, 2002. Áreas de Producción. En: El Cultivo de Poroto en la República Argentina. Ediciones INTA ISBN 987-521-067-6 pp: 61