

Manejo eficiente del riego en maíz con información satelital

Martínez, Roberto S.^{1,2}, Reinoso Lucio², Neffen, E.^{1,2}, Roman, José L.¹, Montenegro, Ayelen^{3,4}, Muzi, Enrique^{1,2}, D'Onofrio, Mariano¹, Zelmer, Hernán^{1,4}, Cerrota, Alfonso⁵

Afiliación

¹ EEA INTA Valle inferior del Río Negro, Argentina.

² Universidad Nacional de Río Negro, Argentina.

³ EEA INTA Alto Valle, Argentina.

⁴ Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

⁵ Sistema Chacras AAPRESID, Argentina.

*correo de correspondencia: martinez.roberto@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

Dentro de la cuenca del Río Negro, Argentina, la superficie cultivada con maíz es aproximadamente 25.000 ha, con una producción de 275.000 Ton, lo cual, si bien representa una participación menos del 1% a nivel nacional, es una región donde la superficie cultivada va en continuo aumento y es una opción estratégica como insumo para la producción de carne en la Patagonia argentina. El rendimiento promedio se sitúa en los 11.000 kg/ha. Al igual que todos los cultivos en esta región, la producción de maíz requiere el aporte de riego para alcanzar producción (la producción es nula sin riego). Considerando la creciente disminución en la disponibilidad de agua para riego en la región, es necesario realizar acciones que permitan mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos enfocados en maximizar la productividad del agua. En este sentido, la estandarización del cálculo de las necesidades de riego del cultivo de maíz permitirá aumentar la eficiencia en el uso de los insumos productivos como son el agua y los fertilizantes. En este trabajo se aplica la metodología FAO 56 asistida con información satelital con objeto de validar su uso en el cultivo de maíz.

MATERIALES

En los valles del norte de la Patagonia argentina el método de riego predominante es el gravitacional. Hay más de 150.000 ha regadas,

asociadas a distritos colectivos de riego (FAO, 2015). A partir del desarrollo del riego en proximidades de los ríos de la región, aumentó la superficie de equipos de pivote central: la superficie regada por pivote en la cuenca del río Negro en el año 2014 era superior a las 5000 ha (Zelmer *et al.* 2015), mientras que desde este grupo de investigación se estimó para el año 2024 una superficie superior a las 9000 ha con la identificación de 140 círculos de riego. Durante las campañas 2020/21 y 2021/22 se realizó un seguimiento del riego, de acuerdo al manejo del productor, en un cultivo de maíz sobre la margen norte del río Negro en el Partido de Patagones, provincia de Buenos Aires (Figura 1). En la campaña 2023/24 se sumaron equipos dentro del Departamento de General Conesa en la provincia de Río Negro. La parcela piloto se encuentra sobre suelos de origen aluvional y coluvional. Los pivotes se ubican sobre suelos poco desarrollados con contenido de materia orgánica entre 1 y 1,5%, sin mayores problemas de salinidad ni sodicidad. La ETo anual es del orden de los 1300 mm, con un período libre de heladas de entre 170 y 199 días y precipitación anual entre los 200 y 380 mm. Por las características mencionadas de precipitación y ETo el riego es integral (prácticamente no se considera el aporte del agua de lluvia). Como consecuencia, la lámina anual a aplicar con riego es alta lo que se corresponde con una alta demanda de energía, lo que lleva a una incidencia muy importante del agua de riego en los costos de producción.

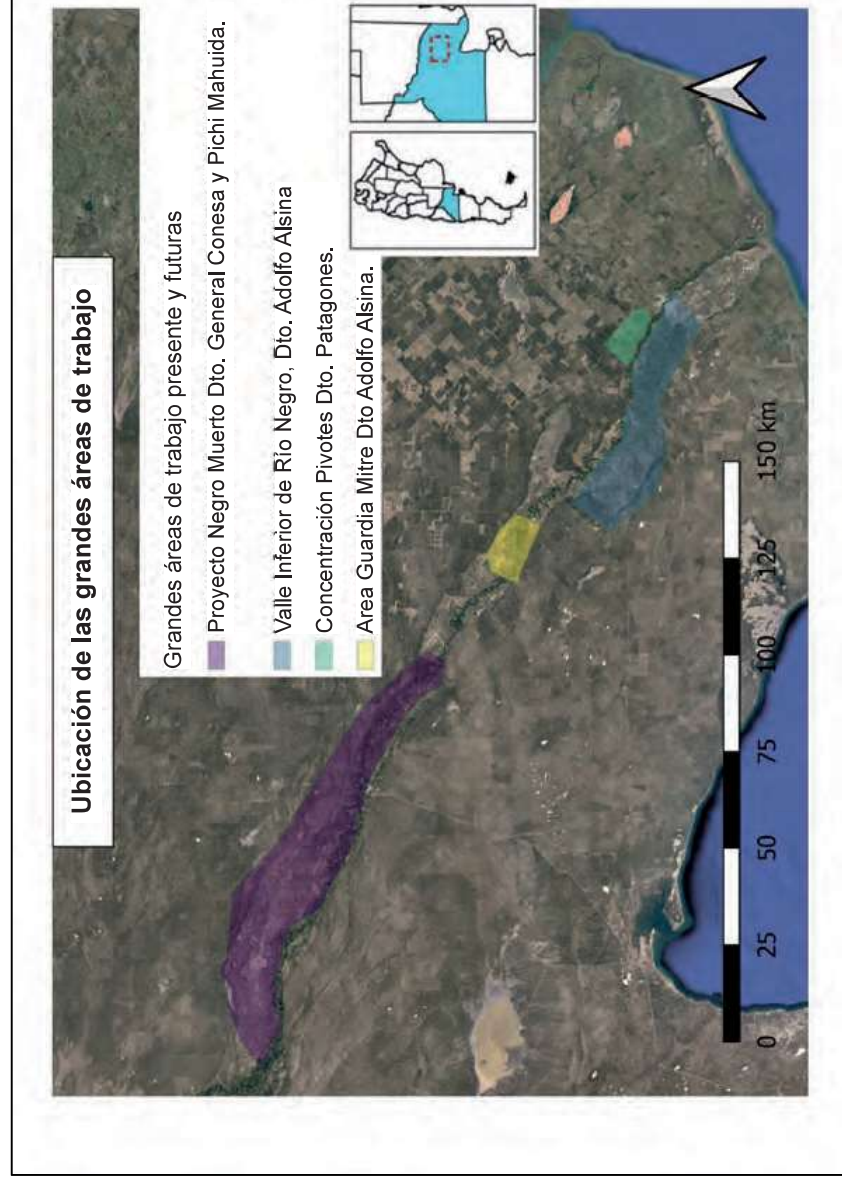


Figura 1. Ubicación de los valles de Negro Muerto, Guardia Mitre y zona de riego del partido de Patagones.

DEFINICIÓN NECESIDADES DE RIEGO

Las necesidades de riego y su aporte al cultivo fueron determinados utilizando la metodología “coeficiente de cultivo - evapotranspiración de referencia” definida por FAO en su Manual N°56 (Allen *et al.*, 1998).

Para esto, se utilizó la plataforma PLAS FONTAGRO (agrisatwebgis.com), mediante la cual es posible realizar un monitoreo del desarrollo temporal del cultivo, establecer el coeficiente de cultivo (Kcb) como se muestra en la Figura 2.

El agrupamiento de los valores del índice NDVI en rangos, permitió identificar y diferenciar niveles de



Figura 2. Portal web de la Plataforma Satelital PLAS – FONTAGRO (agrisatwebgis.com).

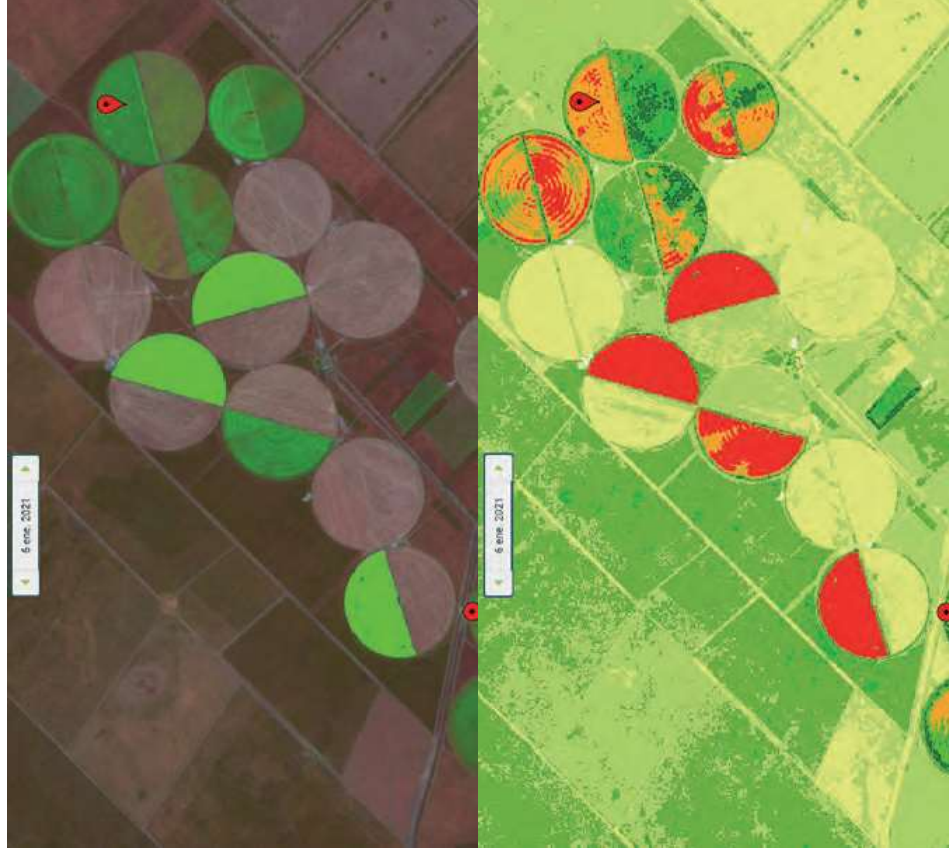


Figura 3. Imágenes del índice de vegetación en distintos equipos de pivote central y su distribución espacial donde se diferencian valores de NDVI de maíz, papa, soja y barbecho de trigo.

desarrollo del cultivo, tal como se señala en la Figura 3

Por su parte, la demanda ambiental en el sitio experimental fue estimada a partir de la evapotrans-

piración de referencia (ET_o), la cual se calculó con los registros de una estación agrometeorológica automática ubicada dentro del establecimiento. Los valores diarios acumulados durante un año son mostrados en la Figura 4, mientras que en la Figura 5 se muestra parte del equipamiento usado.

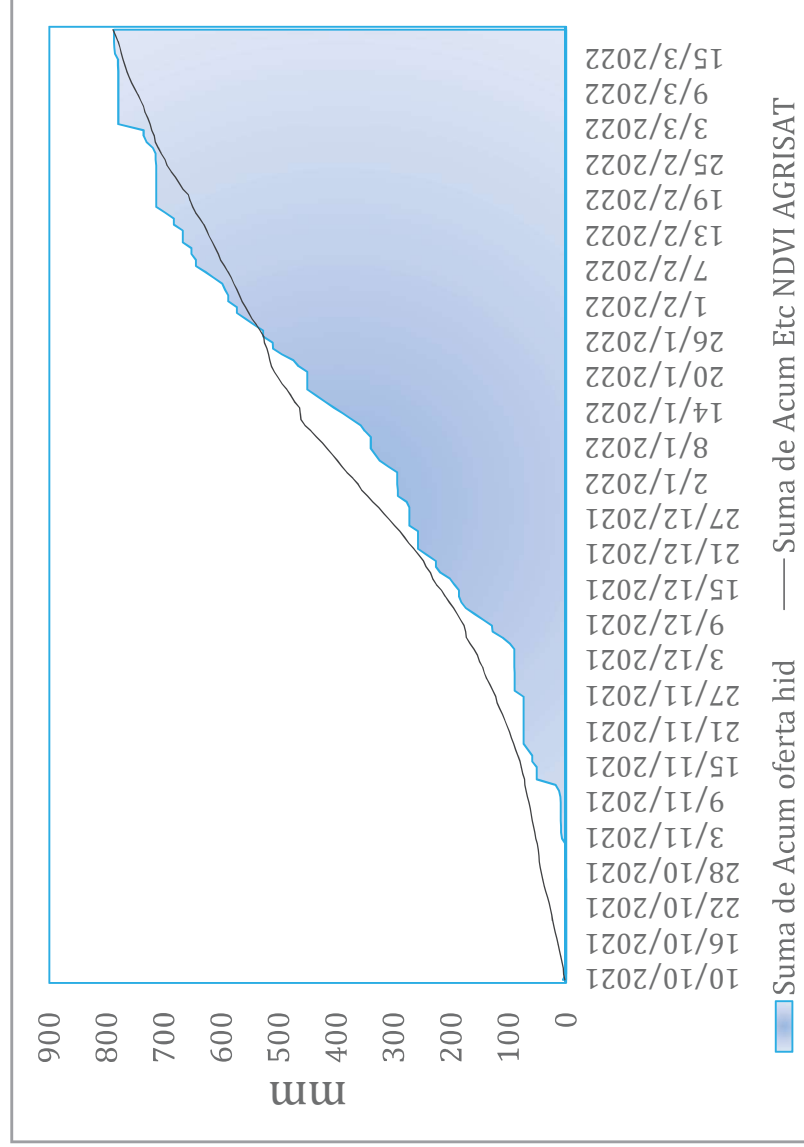


Figura 4. Oferta hídrica acumulada frente a necesidades hídricas en la campaña 2020/21.



Figura 5. Instrumental de monitoreo de los componentes de riego. Mediciones de caudal del equipo, registro de los datos, y sensores de medición del contenido de agua en el suelo a diferentes profundidades.

RESULTADOS

Durante la campaña 2023/24 se estuvo trabajando sobre cultivo de semilla de maíz (Figura 6). Es de destacar que en la curva de kc del maíz se observa una caída de valores en el momento en que

se produce el corte de la flor masculina debido al manejo programado de acuerdo al proceso y protocolos para la obtención de semillas híbridas. En este caso se trabajó realizando seguimiento y generando una planilla semanal de asesoramiento de riego para el productor (Cuadro 1).

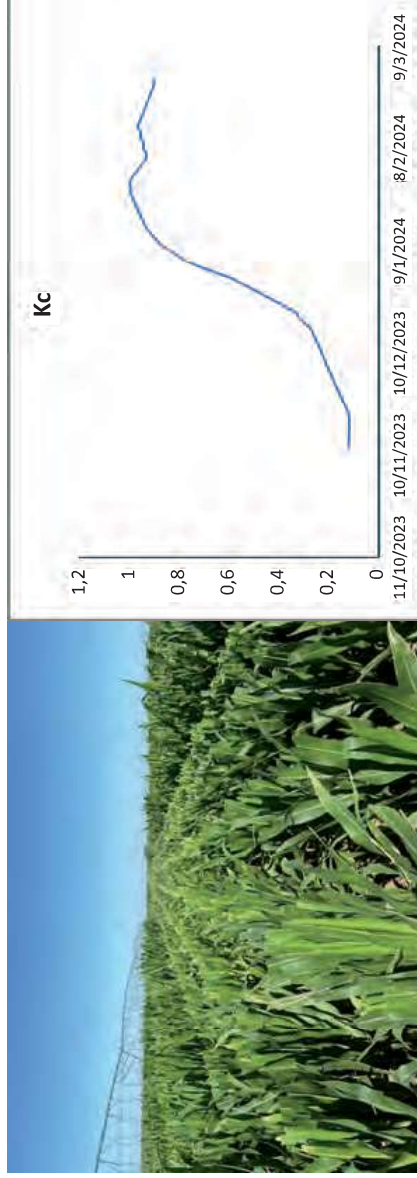


Figura 6. Vista del cultivo de maíz para semilla y evolución de la curva estimada de Kc para el desarrollo del cultivo, obtenido con datos de la plataforma PlasFontagro.

Cuadro 1. Modelo de tabla presentada para el asesoramiento del riego a aplicar durante la semana del 1 al 7 de enero de 2024.

Fecha	Kc	ETo (mm)	ETc (mm)
1/1/2024	0.71	7.1	5.06
2/1/2024	0.74	5.4	3.97
3/1/2024	0.77	6.3	4.88
4/1/2024	0.80	5.6	4.46
5/1/2024	0.83	6.5	5.43
6/1/2024	0.86	8.0	6.84
7/1/2024	0.90	6.6	5.98
Total ETc			36.62
Lámina bruta considerando 0.85 de EA			43.08

El monitoreo con información satelital permitió caracterizar la duración de los periodos de desarrollo del cultivo: establecimiento (Kcb inicial), desarrollo (crecimiento vegetativo), sin desarrollo vegetativo (Kc medio) y senescencia (Kc fin). No solo se identificaron los estados de desarrollo del cultivo, sino que se estableció su magnitud (máximos) y duración de las etapas, lo que mejoró la definición precisa de los volúmenes de riego y la oportunidad de aporte.

MANEJO DEL RIEGO

En cuanto a la dinámica del agua en el suelo se puede observar en una primera instancia que hubo una disminución de la humedad volumétrica a distintas profundidades (Figura 7), hasta que ésta se incrementó por un riego hasta capacidad de campo aplicado el 11/1. Posteriormente hubo una nueva disminución del contenido de agua del suelo, apareciendo extracciones de agua en capas más profundas) También se observa que en los últimos días medidos hubo un aumento de la humedad con picos principalmente en sensores ubicados cerca de la superficie. En el Cuadro 2 se muestra la contabilidad de agua aplicada y ETc durante esos meses

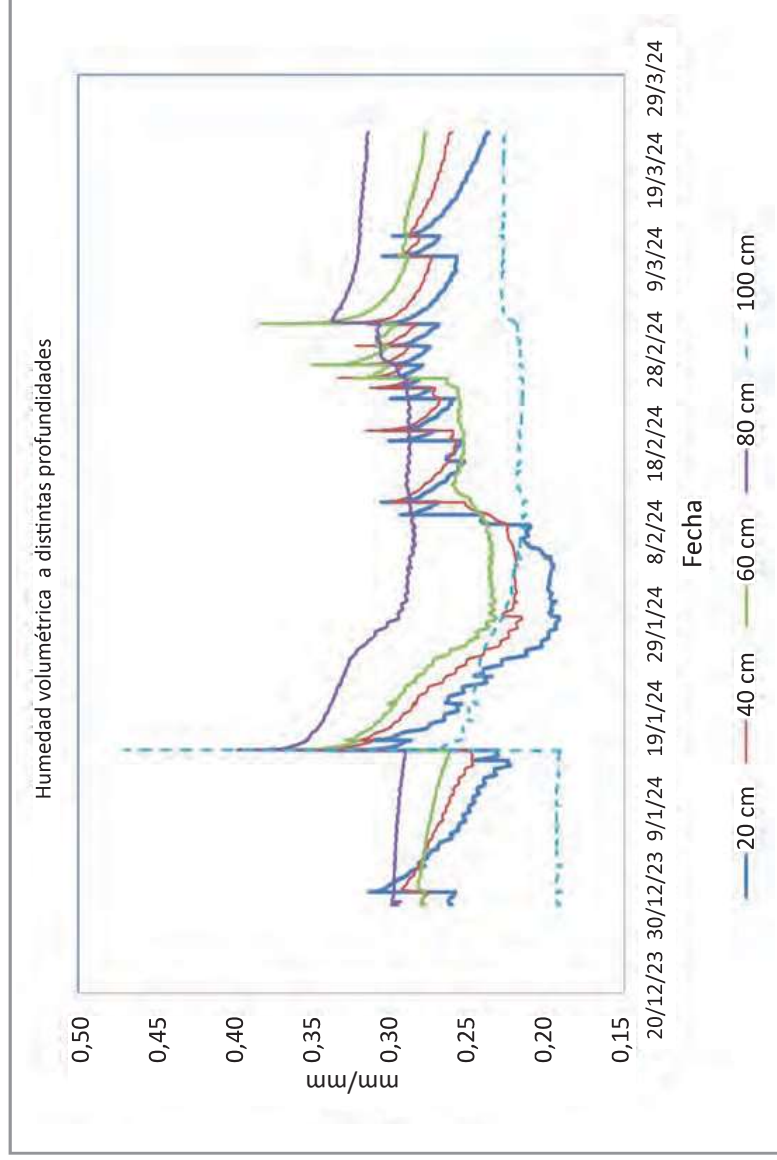


Figura 7. Dinámica del agua en el suelo, contenido volumétrico de agua (HV, mm/mm) en el cultivo de maíz a distintas profundidades.

Cuadro 2. Agua aplicada y ETc durante los meses de noviembre a febrero.

mes	Agua aplicada (mm)	ETc (mm)
noviembre	45	25
diciembre	72	41
enero	135	190
febrero	192	161
marzo	72	82
total	516	499
considerando un 85% de EA	439	

No se presentan datos de rendimiento debido a que hubo incompatibilidad entre las líneas parentales del lote en estudio, afectando la polinización y por lo tanto con rendimiento muy bajo.

Durante la campaña 2023/24, también se instalaron sensores en equipos de pivote central en el departamento de General Conesa en la provincia de Río Negro (Figura 8).



Figura 8. Instalación de sensores FDR (contenido de agua del suelo) en los cultivos en General Conesa, Río Negro.

En el Cuadro 3 se presentan los riegos aplicados, del 40 al 90% lo que llevó a que se aplicaran donde se destaca que se acumularon 78 vueltas rante toda la campaña 860 mm. completas del equipo, con velocidades de avance

Cuadro 3. Fecha de inicio y fin de cada evento de riego, velocidad del equipo, vueltas totales recorridas en cada riego y lámina aplicada en el pivot.

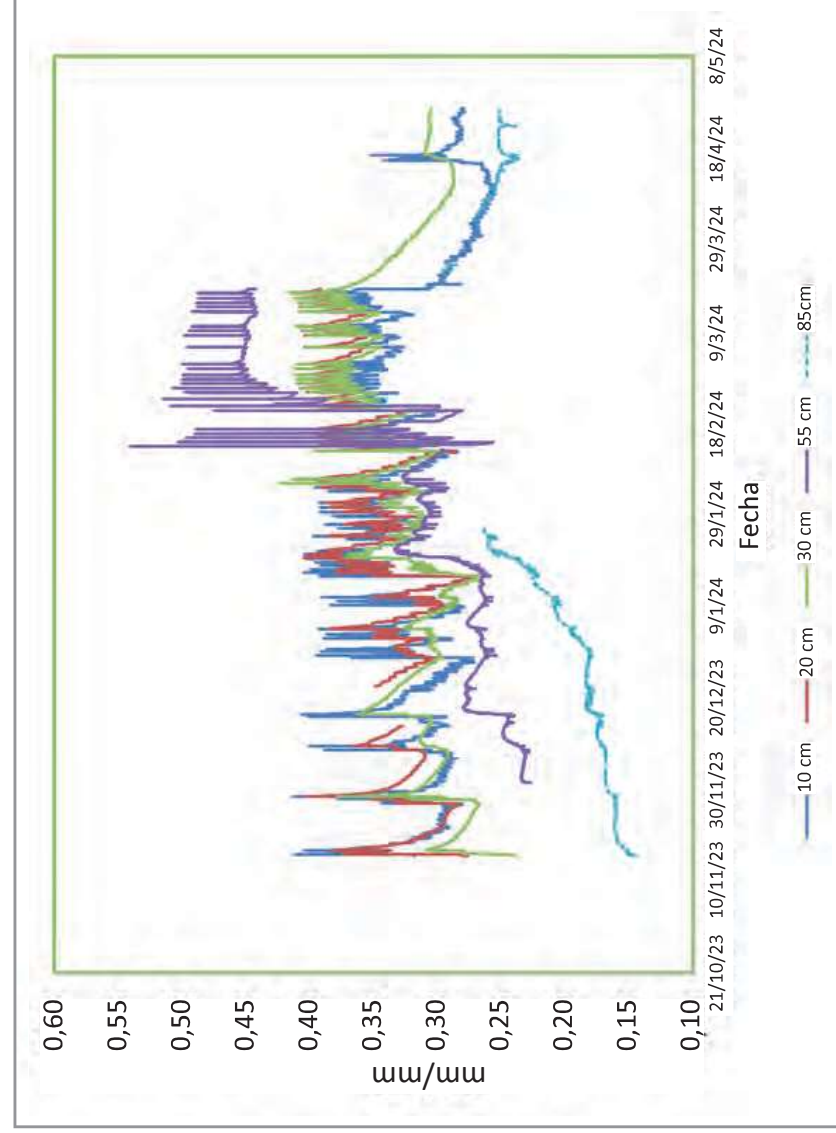
Inicio de riego	Fin de riego	Avance %	Vueltas	mm
27/10/2023	29/10/2023	80	4	30
13/11/2023	14/11/2023	80	3	23
14/11/2023	17/11/2023	60	5	50
26/11/2023	28/11/2023	60	1	30
28/11/2023	29/11/2023	40	1	15
07/12/2023	08/12/2023	80	2	15
08/12/2023	09/12/2023	60	1	10
09/12/2023	10/12/2023	80	2	15
28/12/2023	29/12/2023	90	1	7
29/12/2023	30/12/2023	60	1	10
30/12/2024	30/12/2023	80	1	8
09/01/2024	10/01/2024	80	2	15
10/01/2024	20/01/2024	60	10	102
20/01/2024	27/01/2024	60	5	51
27/01/2024	05/02/2024	50	7	85
05/02/2024	15/02/2024	50	5	67
15/02/2024	25/02/2024	50	8	99
25/02/2024	05/03/2024	50	8	99
05/03/2024	15/03/2024	50	8	99
15/03/2024	17/03/2024	50	3	30
TOTAL			78	860

Cuadro 4. Relación entre lámina aplicada y ETc-PLAS para los distintos meses de desarrollo del cultivo.

Mes	Lámina aplicada	ETc (mm)-PLAS	Relación entre satélite y aplicado
octubre	30	5	635%
noviembre	118	37	323%
diciembre	65	74	87%
enero	211	210	101%
febrero	258	178	145%
marzo	179	126	142%
Total	860	629	137%

Si consideramos a partir del cuadro anterior la cantidad de agua aplicada mensualmente y la relacionamos con la ETc del cultivo, se puede observar que la aplicación fue un 137% de las necesidades con un mayor porcentaje aplicado en los primeros dos meses que sirvió para aportar agua al perfil del suelo (Cuadro 4).

En este caso se destaca en la Figura 9 una aplicación de agua suficiente e incluso superior a las necesidades de manera que hubo una acumulación en la ubicación de los sensores a mayor profundidad.

**Figura 9.** Dinámica del contenido de agua en el suelo (Hv) a distintas profundidades en cultivo de maíz en lote General Conesa.

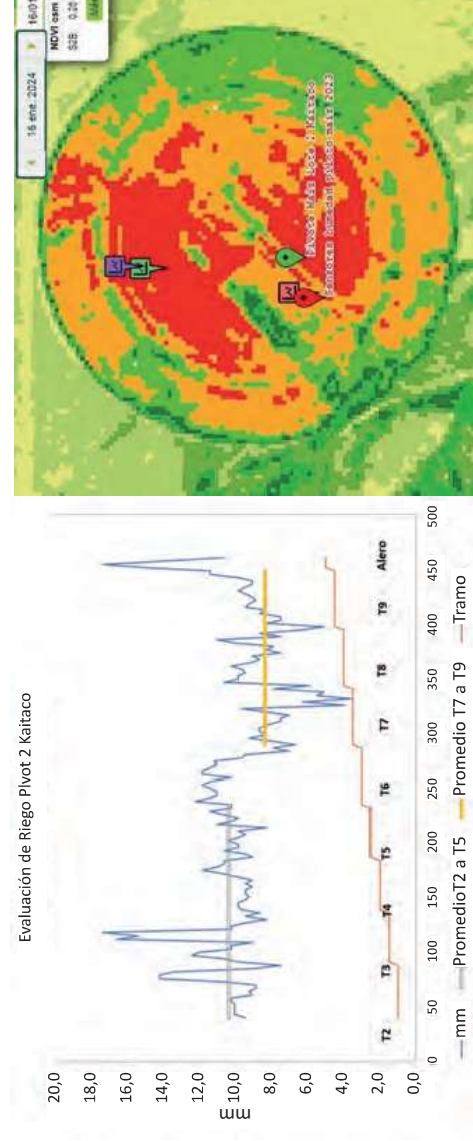


Figura 10. Comportamiento de las láminas aplicadas por el equipo de riego y distribución del índice de NDVI en momento estado de desarrollo previo al estado fenológico VT.

Comparando los datos de NDVI del equipo con los resultados de la distribución espacial de la pluviometría realizado durante evaluaciones de riego, se observa que en las torres o sector donde el agua aplicada fue menor (por causas a mejorar del equipo de riego) se corresponden con valores de NDVI también menores (Figura 10).

RENDIMIENTO

Se tomaron 17 muestras de rendimiento dentro

del círculo de riego. Las mismas se representan en los puntos marcados en la Figura 11.

Las muestras de mazorcas recolectadas corresponden a parcelas de 2 hileras de siembra por 2 metros de largo, lo que corresponde a una superficie de 2,8 m² cada una. Se contó el número de plantas y número de espigas, se obtuvieron los granos, se determinó humedad de grano y se calculó el rendimiento para una humedad de grano del 14%.

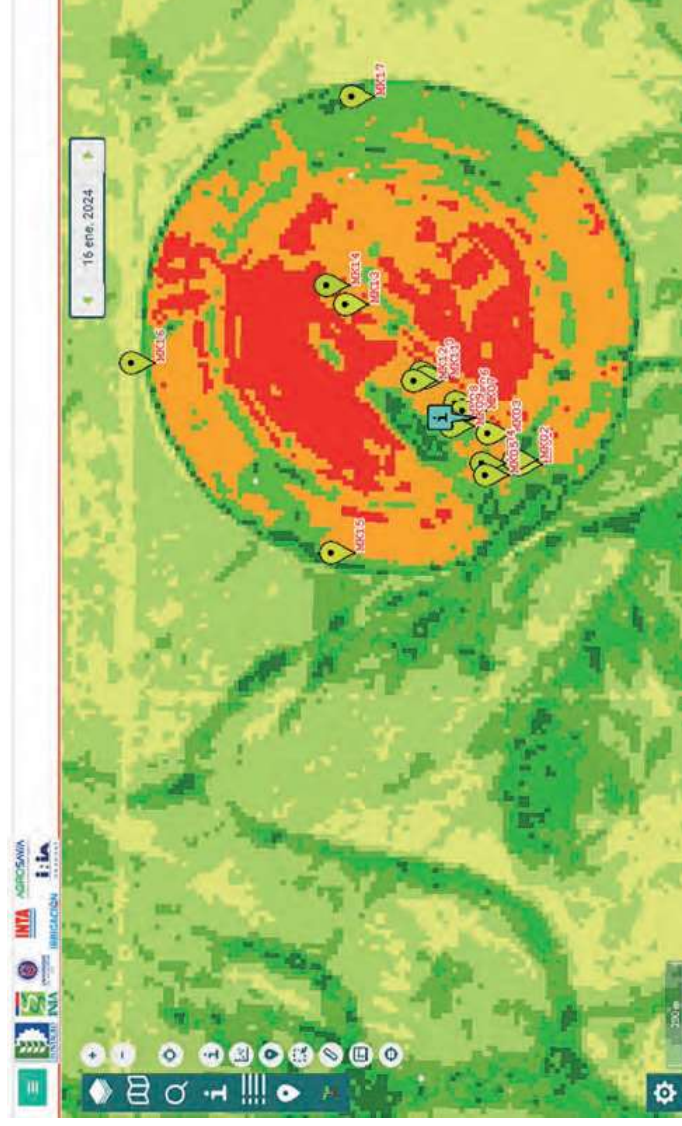


Figura 11. Ubicación de las distintas muestras de rendimiento tomadas dentro del pivote central en el cultivo de maíz.

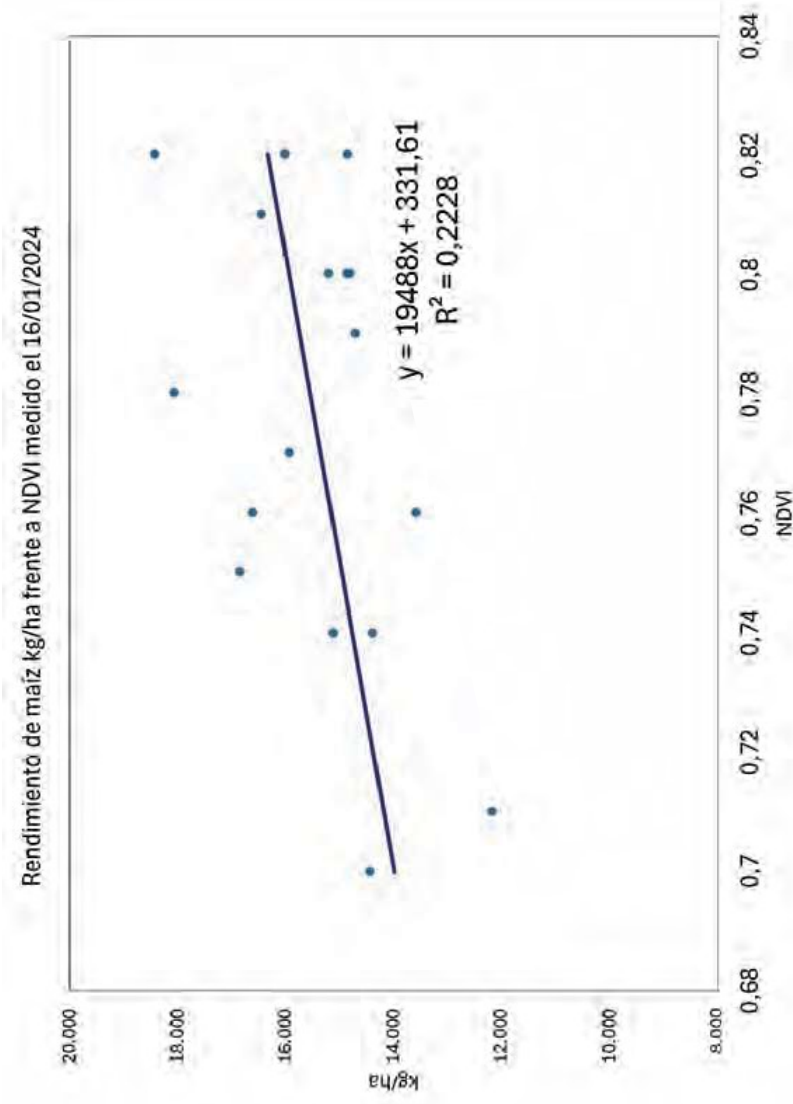


Figura 12. Relación del rendimiento final de grano y el valor de NDVI del 16 de enero de 2024.

En los muestreos se determinó un promedio de 9,7 plantas por m². Los rendimientos medidos en promedio fueron en promedio de 15.400 kg/ha. En la Figura 12 se observa la relación de rendimientos frente a valores de NDVI observados el día 16/01/2024.

En el Cuadro 5 se presenta un resumen de los rendimientos y la productividad del agua alcanzados dentro del pivot trabajado de acuerdo

do al proyecto (PLAS), se compara con las medias conocidas de acuerdo a encuestas y expertise de referentes (control) y con un lote dentro del mismo pivote central en esa campaña donde se realizó un ensayo de fertilización y se consideró sin limitantes por macro y micronutrientes (P1). No se hacen comparaciones, como en algunas otras regiones, con un maíz de secano porque en esta región el rendimiento es nulo.

Cuadro 5. Parámetros productivos evaluados en cosecha.

Parámetro	Proyecto-PLAS	control	P1
Rendimiento (kg/ha)	15.400	12.000	20.000
Lámina de agua aplicada (mm)	860	750	860
Productividad del agua (kg/m ³)	1.8	1.6	2.3

CONCLUSIONES

Se está trabajando en difusión y capacitaciones sobre la plataforma.

La plataforma tiene una respuesta muy positiva de técnicos, productores y encargados de las explotaciones.

Se facilita trabajo de campo frente a distintas fechas de siembra y distintos cultivos o manejos de cultivos.

Hay una disponibilidad de información dentro del ciclo del cultivo que aporta a la toma de decisiones y al control del manejo.

Estas actividades también promueven el uso de otras plataformas con el mismo fin y el uso del balance hídrico para la programación de riego por parte de los productores.

Los resultados mostraron en los dos primeros años un aporte a la explicación de la dinámica del agua y aporte a los balances hídricos teóricos. En ambos años hubo problema en momentos específicos con déficits hídricos por problemas estructurales que afectaron los rendimientos potenciales de los cultivos.

En la campaña 2023/2024 se trabajó con cultivos para semilla híbrida, lo que fue un desafío por considerar valores de Kc no conocidos. No se evaluó rendimiento comercial por un inconveniente de compatibilidad entre las líneas parentales, pero los encargados de la producción consideran de interés continuar con estos seguimientos para estos cultivos donde el producto es diferenciado.

En el cultivo de maíz para grano en esta campaña, se realizó un seguimiento con sensores

de humedad que indicaron la situación del manejo del riego, mostrando un riego ajustado a las necesidades en las primeras etapas y láminas mayores a partir de floración donde se observan incrementos notables de humedad volumétrica a los 55 y 85 cm de profundidad y una mayor actividad a los 30 cm. Los rendimientos del orden de los 15000 kg/ha se consideran adecuados para lograr un margen bruto positivo en las explotaciones de la zona.

Respecto a las condiciones climáticas, la de altas temperaturas en la época de floración podrían haber afectado significativamente los niveles de producción obtenidos dependiendo del ciclo evaluado.

La estimación de la ETc a través de la utilización de imágenes satelitales desde la plataforma Agri-satWEBgis fue más precisa respecto de la estimación a través de la metodología tradicional por valores tabulados de Kc, demostrando la utilidad de la primera para el cálculo de las necesidades netas de riego en condiciones sitio específicas.

En forma complementaria, y considerando que el agua de riego utilizada si presenta un contenido relativamente bajo de sales (0,2 dS m⁻¹) debe contemplarse el seguimiento de los niveles de sales y relación de adsorción de sodio (RAS) en el perfil de suelo para evaluar la necesidad de efectuar manejos de riego adecuados, en caso de que estos alcancen un nivel crítico que pueda comprometer la producción. Previo a estos ensayos, en estos establecimientos se hicieron seguimientos y no se observaron problemas (Quichán *et al.*, 2016)

Como principal conclusión a partir de los resultados obtenidos, podríamos considerar que el manejo del riego, apoyado en la metodología de cálculo de Kc y Kcb, evaluada en esta parcela, proporciona una estimación confiable de las necesidades netas de riego por parte del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen RG, Pereira, LS, Raes D y Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 300 p.

FAO. 2015. Estudio del potencial de ampliación del riego en Argentina. UTF/ARG/017/ARG. Desarrollo institucional para la inversión. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina FAO-PROSAP. Buenos Aires. 120 p.

Quichán, S, Martínez RS, Martínez RM, Esquerria, W, Lui Eduardo, Mazzieri, J. 2016. El riego por aspersión en la norpatagonia y su efecto sobre las propiedades del suelo, PILQUEN AGRONOMIA. Viedma: CURZA. 2016 vol.15 n°1. p1 – 10

Zelmer, H, Barrionuevo, N, Martínez, RS y D’Onofrio, M. 2015. Área regada por pivot en la cuenca del Río Negro y caracterización de su funcionamiento. CONAGUA. Paraná, Argentina, p238.

