

## Monitoreo Integrado de cultivos: Combinando Big Data, Imágenes Satelitales y Datos de Campo para una Agricultura Eficiente

La revolución de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs), el desarrollo de sensores de bajo costo y las imágenes satelitales, junto con las plataformas de computación en la nube como Google Earth Engine, han transformado la recopilación y análisis de datos en la agricultura, que combinadas con herramientas de inteligencia artificial y plataformas de mapeo colaborativo, permiten un acceso más eficiente a la información, mejorando la planificación y el uso de recursos agrícolas.

En este contexto, durante la campaña de verano 2023/2024, se realizó el monitoreo de lotes de algodón en el distrito San Martín del sistema de riego del río Dulce (SRRD), el área de riego más importante de la provincia de Santiago del Estero, que concentra casi la totalidad de la producción agrícola bajo riego y abarca una superficie de 300.000 ha, distribuidas en 11 distritos. Los cultivos predominantes del área son algodón, alfalfa, maíz y hortalizas. En esta etapa inicial, se realizó el seguimiento de 8 lotes de algodón en el Distrito San Martín, cuya superficie es de 73.540 ha. La ubicación de los lotes se muestra en la Figura 1.

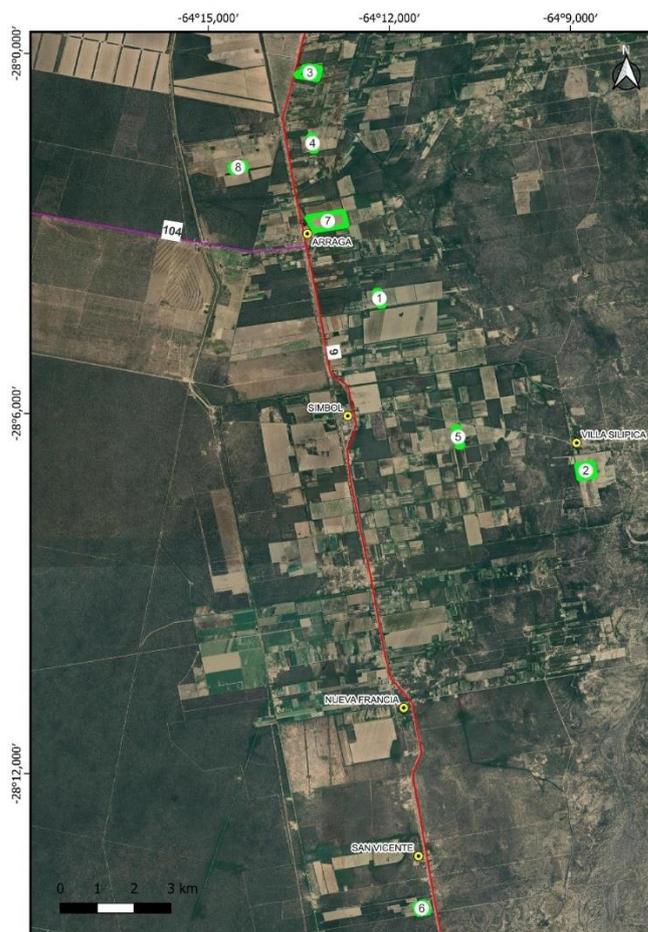


Figura 1. Ubicación de los lotes de algodón monitoreados durante la campaña 2023/24

Esta actividad se realizó para generar información para la toma de decisiones de manejo de los cultivos, a partir de productos de sensores remotos y datos de campo relevados de manera colaborativa por el equipo técnico y los productores. A partir de los datos relevados, se elaboraron informes técnicos para los productores y se generó una base de datos que se utilizará con fines de investigación.

Esta experiencia piloto es el puntapié para el desarrollo de una App para el monitoreo agrícola que utilice estas tecnologías de vanguardia (sensores remotos, Sistema de Información Geográfica, Big data, Google Earth Engine e Inteligencia Artificial) para promover la digitalización de la agricultura y aportar a la producción agrícola sustentable.

Los usuarios de la plataforma serán: productores, promotores, asesores, asociaciones de productores, proveedores de servicios e insumos, organismos vinculados al sistema agropecuario y agroindustrial, estudiantes y público en general vinculados al tema.

### Las actividades realizadas

Durante la campaña de cultivo, se realizaron las siguientes actividades en cada uno de los lotes:

- a) Caracterización del cultivo: a través de observación directa y de consultas al productor se registraron datos del lote y del cultivo: fecha de siembra, sistema de labranza, cultivo antecesor, cultivar y sistema de riego. En cada lote, se definieron tres puntos de muestreo, ubicados sobre una diagonal, como se ilustra en la Figura 2.

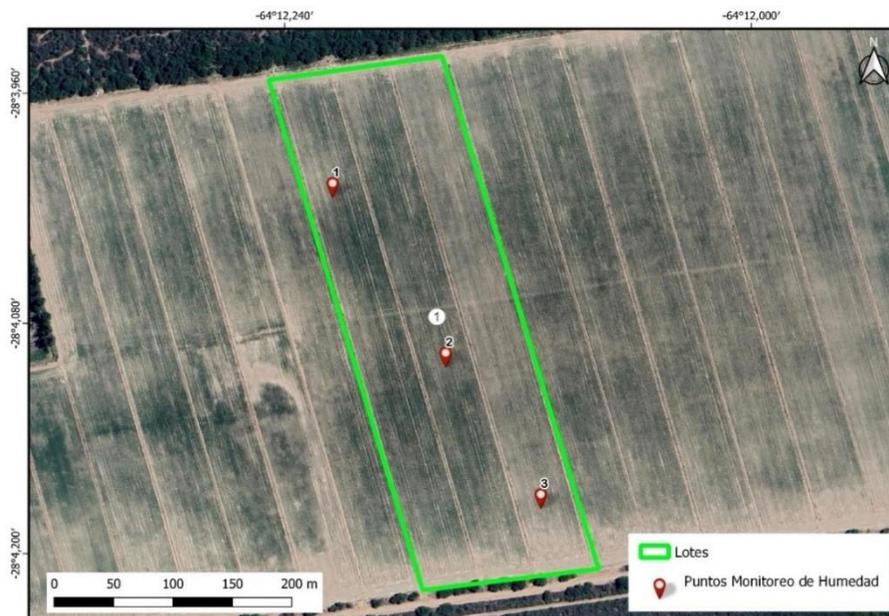


Figura 2. Puntos de muestreo en el Lote.

- b) Medición de propiedades físicas y químicas del suelo: se tomaron muestras de suelos para medir propiedades físicas y químicas. Se muestrearon en 5 profundidades: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm. Los análisis de estas muestras fueron realizados en el Laboratorio de Suelos y Forrajes del Campo Anexo Francisco Cantos (CEFC). En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para un lote.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del suelo.

Código	Descripción	CE <sub>ex</sub> (dS/m)	pH <sub>ex</sub>	P (ppm)	COT (%)	N <sub>t</sub> (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase Textural
19805	1/0-20cm	1,82	7,2	17,2	0,8	0,07	22	60	18	Franco limosa
19806	1/20-40cm	0,73	7,5	5,5	0,6	0,06	20	60	20	Franco limosa
19807	1/40-60cm	0,49	6,9	2,0	0,3	0,05	20	50	30	Franco limosa
19808	1/60-80cm	0,70	7,0	0,4	0,2	0,03	20	50	30	Franco limosa
19809	1/80-100cm	0,74	7,1	ND	0,2	0,02	20	50	30	Franco limosa

CE<sub>ex</sub>: Conductividad Eléctrica en extracto de pasta de saturación

pH: Potencial Hidrógeno en extracto de pasta de saturación

P (ppm)= Fósforo extractable por Olsen

COT = Carbono Orgánico Total por Walkley Black (COT = CO x 1,3)

N<sub>t</sub> = Nitrógeno total por Kjeldhal

Textura= Método de Bouyoucus

ND: No detectado

- c) Seguimiento de humedad gravimétrica del lote y fenología del cultivo: Se llevó a cabo el seguimiento de la humedad, con una frecuencia de medición de 14 días, utilizando el método tradicional de gravimetría a 5 profundidades: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm. En cada fecha de muestreo se registraron los días transcurridos desde la siembra, la etapa fenológica, su altura y el porcentaje de cobertura del suelo (Figura 3).



Figura 3. Muestreo de humedad del suelo y mediciones del cultivo.

La Figura 4 muestra la humedad en el perfil del suelo en las fechas de muestreo.

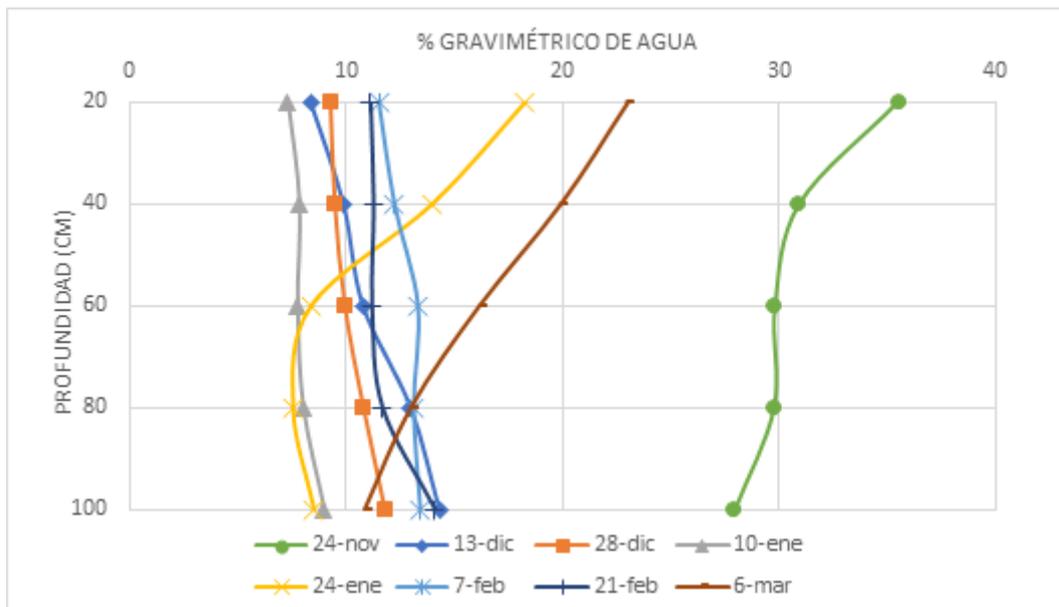


Figura 4. Contenido gravimétrico de agua en el suelo (%)

d) Monitoreo del cultivo con imágenes satelitales: El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés), conocido como índice verde, permite monitorear los lotes y tomar decisiones de manejo. Los valores altos (mayores a 0.6) se ven en tonos de verde oscuros y representan la vegetación sana y abundante. La vegetación estresada se sitúa entre 0.3 y 0.5. El suelo desnudo o con escasa vegetación presenta valores cercanos a cero. Los valores negativos, generalmente se asocian con presencia de agua, nubes, entre otros. En la Figura 5 se muestran los mapas de índice verde del lote, calculados a partir de las imágenes libres de nubes, del satélite Sentinel 2, a lo largo del período del cultivo.

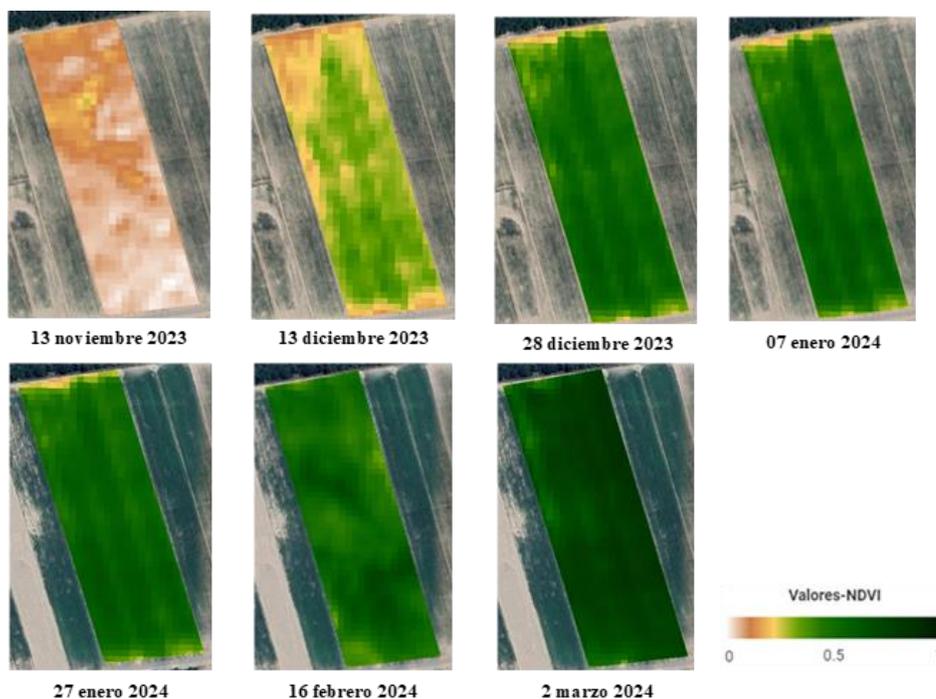
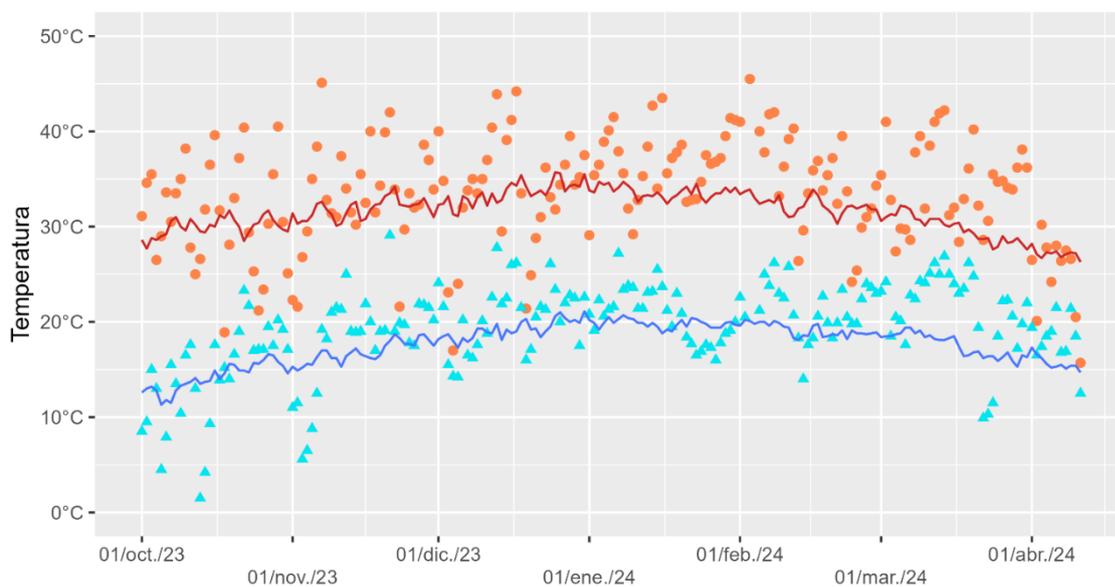


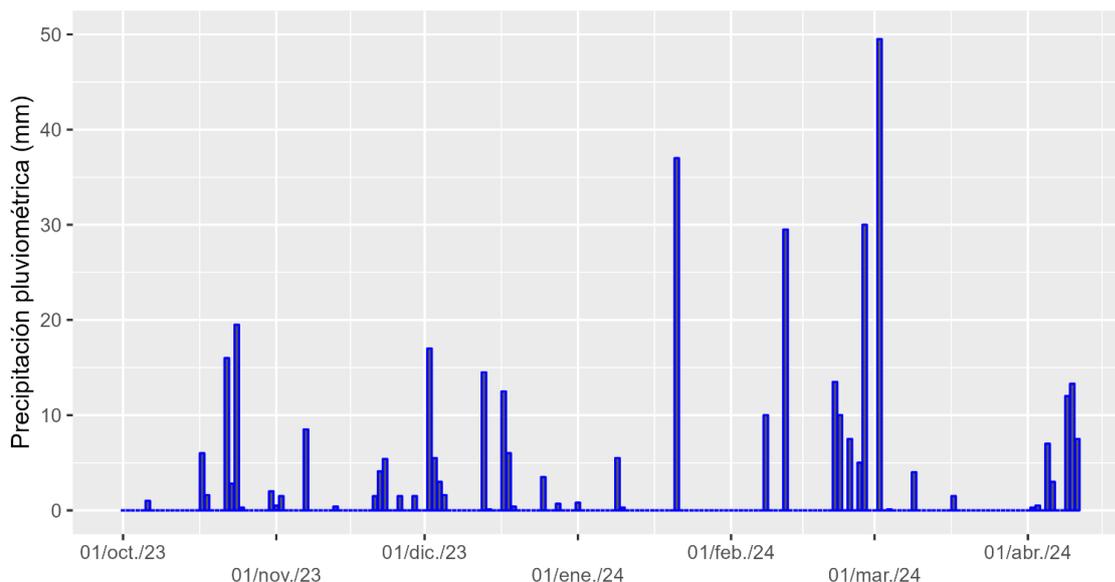
Figura 5. Mapas de índice verde del lote, calculados a partir de imágenes Sentinel 2

e) Seguimiento de variables meteorológicas: precipitaciones, temperatura y evapotranspiración potencial: Las Figuras 6, 7 y 8 muestran los gráficos de las principales variables meteorológicas registradas en la estación meteorológica del Campo Experimental Francisco Cantos, INTA Santiago del Estero, ubicada en La Abrita, Dpto. Silípica, ubicada en la Latitud 28.02° Sur, Longitud 64.23° Oeste a 169 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar). En la figura 6, podemos apreciar la marcha diaria de la temperatura. Con puntos naranjas y celeste se representan los valores diarios de las temperaturas máximas y mínimas respectivamente, registradas en esta campaña. Las líneas indican la evolución promedio de los valores diarios de temperaturas máximas (línea roja) y mínimas (línea azul) teniendo en cuenta la climatología. El promedio de las temperaturas máximas fue superior al normal en los meses de octubre, noviembre, enero y febrero. Con excepción de octubre, los restantes meses presentaron un promedio de las temperaturas mínimas diarias superior al Normal.



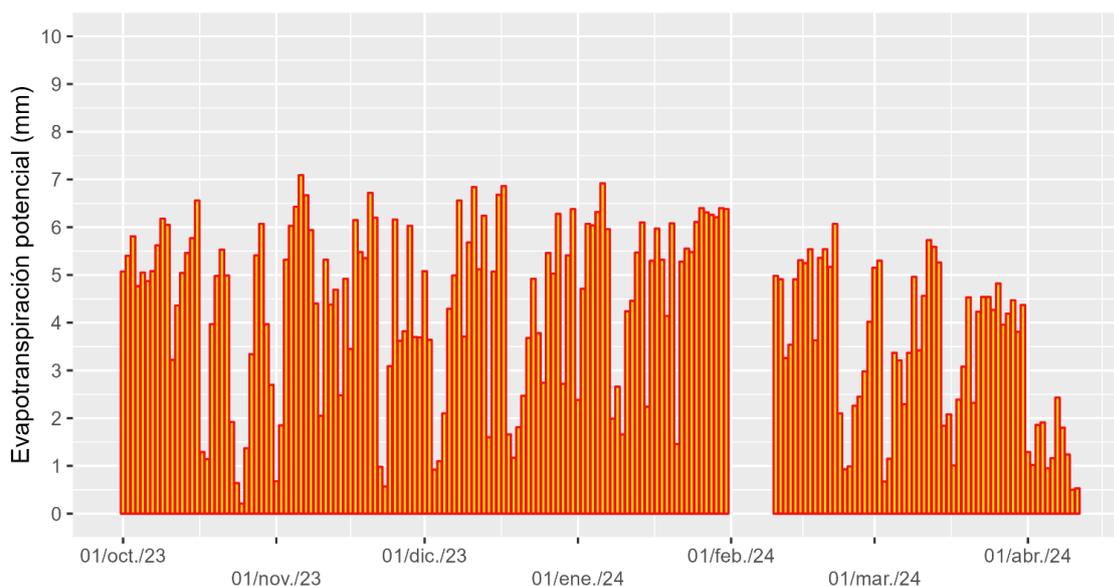
**Figura 6.** Evolución de las temperaturas máximas y mínimas durante el periodo de crecimiento del cultivo.

En la Figura 7, se muestra la distribución temporal de las precipitaciones y el valor acumulado en cada periodo de 24 horas (medidos entre las 09:00h de dos días consecutivos, lo que se denomina día pluviométrico). Con excepción de octubre, los restantes meses presentaron valores acumulados mensuales que significaron una precipitación por debajo de lo Normal.



**Figura 7.** Distribución temporal de las precipitaciones, durante el periodo de crecimiento del cultivo.

En la Figura 8, se presentan los valores calculados de evapotranspiración potencial de acuerdo con el procedimiento de cálculo de FAO Penman-Monteith.



**Figura 8.** Evapotranspiración potencial (mm).

- f) Estimación de rendimiento de fibra bruta de algodón: Para hacer una estimación del rendimiento en kg ha<sup>-1</sup> se cosecharon 2 surcos de 5 m lineales en las proximidades de los puntos de muestreo de humedad, acopiándose en bolsas separadas para cada surco. Posteriormente se pesaron en laboratorio y se estimó el rendimiento. Los rendimientos variaron entre 1356 y 4328 kg ha<sup>-1</sup> en los 8 lotes muestreados, con un rendimiento promedio de 2725 kg ha<sup>-1</sup>.

## Equipo de Trabajo



El equipo está conformado por Técnicos de Recursos Naturales y Producción Vegetal: Néstor Gómez, Gabriela Barraza, Juana López, Nelson Domínguez, Abel Azar, Cesar Ariel Rodríguez, Fernando Álvarez, Gustavo Andrada, Juan Carlos Rodríguez, Mario Umbídez, Ramiro Rodríguez, Richar Ruiz, Mario Valoy



Esta actividad se encuentra enmarcada en los proyectos:

- Abordaje para la prevención y mitigación de la degradación ambiental y la pérdida de biodiversidad en la Región NOA (INTA/2023-PE-L03-I055);
- Adaptación a la variabilidad y al cambio global: herramientas para la gestión de riesgos, la reducción de impactos y el aumento de la resiliencia de socioecosistemas (INTA/2023-PD-L02-I091);
- Plataforma de Innovación Territorial: Fortalecimiento de los procesos de innovación tecnológica y de gestión organizacional para contribuir al desarrollo territorial sustentable de los sistemas productivos predominantes en las áreas de riego del Río Dulce y del Río Salado de la provincia de Santiago del Estero (INTA PIT R-31-I059-001);
- Diseño y aplicación de tecnología para la cadena algodonera (INTA: PE. I 070).