



## Proyecto Grupo de Reciente Formación (GRF)

### 1. TÍTULO DEL PROYECTO (Hasta 250 caracteres con espacios incluidos)

**Implementación de herramientas de agricultura digital en el estudio de prácticas de manejo para cerrar brechas de rendimiento en sistemas de cultivos del Sur de Córdoba**

### 2. DIRECTOR

2.1. Apellido y Nombres: **Balboa, Guillermo Raul**

2.2. CUIL: **20-31123666-1**

2.3. Cargo Docente: **JTP**

2.4. Dedicación: **Exclusivo**

2.5. Categoría Incentivos: **5**

2.6. Correo Electrónico:

2.7. Tel Interno: **504**

**gbalboa@ayv.unrc.edu.ar**

### 3. CO-DIRECTOR

3.1. Apellido y Nombres:

3.2. CUIL:

3.3. Cargo Docente:

3.4. Dedicación:

3.5. Categoría Incentivos:

3.6. Correo Electrónico:

3.7. Tel Interno:

### 4. LUGAR DE EJECUCION

4.1. Facultad: **Facultad de Agronomía y Veterinaria**

4.2. Departamento, Cátedra: **Producción Vegetal, Producción de Cereales**

4.3. Teléfono: **0358 4676504**

4.4. Correo Electrónico: **gbalboa@ayv.unrc.edu.ar**

4.5. Otras dependencias involucradas:

### 5. DATOS ACADÉMICOS

5.1. Palabras Claves (elegir hasta 5 palabras claves de hasta 20 caracteres)

**1) Agricultura digital 2) Modelo de cultivo 3) Cultivo de servicio 4) repositorio digital 5) manejo de cultivo**

5.2. Áreas Prioritarias y Temas de Interés Institucional para la promoción de actividades de investigación – Resolución del Consejo Superior N° 302/18 Anexo I.

Área Prioritaria: **7.Des.Sustentable, Medio Amb., Salud y Cal.de Vida**

Tema de interés Institucional: **4.1** (indicar el código solamente ej: 5.8)

5.3. Tipo de Actividad de I+D: **Investigación Aplicada**

5.4. Disciplina de Investigación (La Tabla de Disciplinas esta disponible en la pagina Web de Ciencia y Técnica)

Código: **1114** Descripción: **Ingeniería Agronomica** - otros: **Agricultura digital** (completar si selecciona "otros")

5.5. Campo de Aplicación (La Tabla de Campos de Aplicación está disponible en la pagina Web de Ciencia y Técnica)

Código: **730** Descripción: **Producción Vegetal** - otros: **Manejo de cultivos** (completar si selecciona "otros")

**6. RESUMEN** *(Hasta 1700 caracteres con espacios incluidos)*

La agricultura digital puede definirse como el empleo de tecnologías de la información, comunicación y computación para incrementar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Pese al avance en el estudio de prácticas de manejo de sistemas productivos las brechas entre el rendimiento alcanzable y el potencial de un determinado sitio aun es de magnitudes considerables. El empleo de modelos de simulación, la generación de bases de datos digitales georreferenciados, y las plataformas de acceso a los mismos constituyen herramientas que permiten potenciar el análisis de prácticas de manejo (fecha de siembra, fertilización, cultivos de servicio, labranza) para comprender el complejo funcionamiento de los sistemas de producción agrícola. El objetivo del presente proyecto es implementar herramientas de agricultura digital para el estudio de prácticas de manejo tendientes a cerrar brechas de rendimiento en sistemas de cultivos del Sur de Córdoba. Se compilarán datos de ensayos de dos Sitios (Sitio I Pozo del Carril, La Aguada Córdoba y Sitio II Campo de Docencia y Experimentación UNRC, Rio Cuarto, Córdoba) de 10 campañas anteriores, se generarán nuevos datos en ensayos para calibrar el modelo de simulación de cultivo APSIM, se analizarán capas de datos digitales en ensayo de larga duración para caracterizar el impacto histórico de prácticas de uso y manejo, se simularán prácticas de manejo para los últimos 25 años. Se espera concluir sobre un conjunto de prácticas de manejo tendientes a aumentar la productividad, estabilidad y sustentabilidad de los sistemas de producción de granos del sur de la Provincia de Córdoba.

**7. RESUMEN EN INGLÉS** *(Optativo - para difusión - hasta 1700 caracteres con espacios incluidos)*

Digital agriculture can be defined as the use of information, communication and computational technology to increase agricultural production sustainability. Despite the advance in the study of management practices to close the gap between attainable yield and potential yield, that gap is still considerable. The use of simulation models, generation of georeferenced digital databases, and digital platforms to access that data can improve the analysis of management practices (sowing date, fertilization, cover crops, tillage) to understand the functionality of agricultural systems. The objective of this Project is to implement digital agriculture tools to study management practices to close the yield gap in South of Cordoba production systems. Historical data (10 years) from two experimental sites (Pozo del Carril, La Aguada Cordoba and Campo de Docencia y Experimentación UNRC, Rio Cuarto, Cordoba) will be compiled, new datasets will be generated in both experimental sites to validate and calibrate APSIM crop model simulator, digital data layers from a long term experiment in Site I will be analyzed to characterize the historical impact of different management practices. This project will bring up a group of management practices to increase productivity, stability and sustainability of crop production systems in the south of Cordoba Province.

**8. ANTECEDENTES DEL GRUPO DE TRABAJO** especialmente los relacionados con la temática objeto de estudio *(hasta 1500 caracteres con espacios incluidos)*

Los integrantes del proyecto y sus asesores han participado del proyecto de investigación acreditado Tecnología sustentable en sistemas de producción agrícola de la región centro-sur de Córdoba. El grupo posee una extensa trayectoria en el estudio de prácticas de manejo para cerrar brechas de rendimiento en el cultivo de maíz, el uso de modelos de simulación de cultivos y la implementación de herramientas de agricultura de precisión para el manejo sitio específico de cultivos. Además de la experiencia en investigación se destacan actividades de extensión y servicios vinculadas a la temática del presente proyecto. El director realizó estudios doctorales en prácticas de manejo sustentables para cerrar brechas de rendimiento en rotaciones maíz soja, incluyendo el modelado de sistemas agrícolas en los Estados Unidos. Además, realizó estudios postdoctorales en agricultura digital en la agencia de investigación científica de Australia (CSIRO). Posee publicaciones en revistas internacionales de alto impacto en la temática del presente proyecto.

**9. DATOS ECONÓMICOS***(GC completar los tres años de ejercicio – GRF completar los dos años de ejercicio)***Total Solicitado en esta convocatoria: \$ 39.000,00****9.1. OTRAS FUENTES DE FINANCIACIÓN***Esta información tiene carácter de declaración jurada y debe incluir todos los proyectos de los miembros que contabilicen horas*

Código de Proyecto	Institución que lo Financia	Montos previstos (pesos)		
		Año 2020	Año 2021	Año 2022
		\$	\$	\$
		\$	\$	\$
		\$	\$	\$
		\$	\$	\$
		\$	\$	\$

**9.2. PRESUPUESTO PARA EL 1º AÑO DE EJECUCIÓN**En el formulario anexo: "*presupuesto-proyecto 2020*" debe completar:**Presupuesto** correspondiente al 1º año de ejecución del proyecto.**Justificación del Presupuesto:** Formular la justificación relacionando objetivos, actividades planteadas y erogaciones presupuestadas.**Aquí informe lo siguiente a modo de resumen:**

<b>PRESUPUESTO TOTAL 1º año</b>	<b>\$ 13.000,00</b>
Bienes de Consumo	\$ 3.000,00
Servicios No Personales	\$ 8.000,00
Bienes de Uso	\$
Becas	\$
Viáticos a Congresos	\$ 2000

...../...../.....  
**Lugar y Fecha**.....  
**Firma del Director**.....  
**Aclaración**

**10. REQUISITOS****10.1. HIGIENE Y SEGURIDAD**

Adjuntar el cuestionario de Higiene y Seguridad para determinar si el proyecto cumple con la normativa vigente.  
(Disponible en la pagina de la Sec. de Ciencia y Técnica)

**10.2. COMITÉ DE ETICA**

Adjuntar el cuestionario provisto por el Comité de Ética para determinar si el proyecto cumple con la normativa vigente.  
(Disponible en la pagina de la Sec. de Ciencia y Técnica)

**11. AVALES INSTITUCIONALES****11.1. ACADÉMICO**

Aval del Decano de la Facultad de radicación del proyecto.

...../...../.....  
**Lugar y Fecha**

.....  
**Firma**

.....  
**Aclaración**

**11.2. COBERTURA DE INTEGRANTES**

Como autoridad de la Facultad en la que se ejecutará el proyecto, Certifico que el personal en relación de dependencia con la UNRC, integrante del mismo, cumple con cobertura de una Aseguradora de Riesgo de Trabajo (ART).

En caso de resultar aprobado el proyecto, la Facultad se compromete a asegurar a aquellos estudiantes que participen del mismo.

En el caso de que se incorpore personal externo a la UNRC, deberá presentar una constancia de cobertura de seguro en el período en el que desarrolle su actividad dentro de la institución.

...../...../.....  
**Lugar y Fecha**

.....  
**Firma**

.....  
**Aclaración**

## 12. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO *Deberá realizarse en no más de 7 páginas*

### 12.1. INTRODUCCIÓN

- *Antecedentes*
- *Hipótesis – Suposiciones – Preguntas de investigación.*
- *Objetivos: Indicar los objetivos, general y específicos, que se estiman alcanzar en el período por el que se solicita el subsidio.*

La proyección de crecimiento de la población de 7,6 billones en 2018 a más de 9,6 billones en 2050 implica un aumento significativo en la demanda de alimentos (UNICEF, 2018). El desafío requiere de sistemas de producción eficientes, sostenibles, inclusivos, transparentes y resilientes. La agricultura digital puede ser parte de la solución (Trendov et al., 2019). La misma puede definirse como el empleo de tecnologías de la información, comunicación y computación para incrementar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. La agricultura digital puede aplicarse a todos los sistemas de producción agrícola o pecuarios reflejando el cambio de prácticas de manejo generalizadas hacia prácticas altamente optimizadas, basadas en el análisis e interpretación de una gran cantidad de datos de diversos orígenes (van Es et al., 2016).

La agricultura de precisión es una de las prácticas de agricultura digital más difundida en los últimos tiempos. Se define como “una estrategia de manejo basada en la adquisición, procesamiento y análisis de datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otras fuentes de información para incrementar la eficiencia en el uso de los recursos, la cantidad y calidad de la producción, y su sustentabilidad (ISPA, 2019). En la actualidad numerosos sensores de cultivo y de suelo permiten recabar datos georreferenciados para caracterizar diferentes ambientes productivos dentro del mismo lote.

Con el objetivo de evaluar las mejoras en productividad, como consecuencia de la aplicación de técnicas de agricultura digital, es necesario conocer la brecha entre el rendimiento potencial de un sitio y el rendimiento actual. El rendimiento potencial de un cultivo se define como aquel obtenido creciendo en un ambiente adaptado, sin restricciones de agua y nutrientes, y control de insectos, enfermedades y malezas adecuado. La diferencia entre el rendimiento actual y potencial se define como brecha de rendimiento (Evans and Fischer, 1999; Rabbinge, 1993). En la región de río cuarto Esposito et al (2015) estimaron el rendimiento potencial del cultivo de maíz en 22.3 Tn ha-1.

Las prácticas de manejo como rotaciones, manejo de la fertilidad, inclusión de cultivos de servicios, control de malezas, insectos y enfermedades van a influir en el rendimiento actual de un cultivo. Un análisis profundo de los principales factores que afectan el rendimiento es necesario para el desarrollo de sistemas de producción sustentables, no solo desde el punto de vista económico sino también social y ambiental. El concepto de brecha de rendimiento es útil para guiar los esfuerzos de investigación y extensión de prácticas de manejo agronómico de cultivos (Van Ittersum et al., 2013).

Identificar el conjunto de prácticas de manejo que mejor se ajustan a un determinado sistema productivo es un desafío por la dinámica de la respuesta asociada con la variabilidad meteorológica, las condiciones del suelo y el genotipo empleado (Fischer et al., 2014). El amplio rango de combinaciones posibles, así como su interacción temporal (condiciones meteorológicas) dificulta el ajuste de estrategias para cerrar brechas de rendimiento basados solamente en experimentación a campo.

El modelado de cultivos ha sido reportado en la literatura como una herramienta efectiva para estimar brechas de rendimiento en diversos cultivos: soja (*Glycine Max L.*), maíz (*Zea mays L.*) (Liu et al., 2012), arroz (*Oryza Sativa L.*) (Affholder et al., 2013), trigo (*Triticum aestivum L.*) (Hochman et al., 2016). Estimación de brechas de rendimiento a escala regional y global han sido posibles gracias a la implementación de modelos computacionales de cultivos (Van Ittersum et al., 2013; Van Wart et al., 2013). Recientemente se reportaron brechas de rendimiento para el cultivo de maíz y soja desde un enfoque que incluye el efecto de la rotación del cultivo (Balboa et al., 2019).

Existen escasas experiencias de simulación de rotaciones de cultivos que incluyan cultivos de servicios. El modelo de simulación de sistemas de producción agrícola APSIM (por sus siglas en inglés, Keating et al., 2003) ha sido exitoso para simular varios aspectos de sistemas de cultivo agrícola-pecuario alrededor del mundo. Ejemplos de aplicaciones de este modelo puede encontrarse en el repositorio digital web de APSIM ([www.apsim.info](http://www.apsim.info)). Una revisión bibliográfica de modelos de simulación en agricultura (Jones et al., 2017) revelaron dos importantes limitaciones de los modelos: la escases de bases de datos de experimentos a campo para el desarrollo y calibración de modelos y la inadecuada comunicación de los resultados de los modelos a la sociedad.

#### Problema de investigación

Los modelos de simulación de cultivo, una vez calibrados y validados pueden generar grandes cantidades de datos e incluso simular sistemas productivos en tiempo real. En paralelo, la ciencia ha desarrollado equipos de sensoramiento y técnicas de medición de variables georreferenciadas capaces de generar gran cantidad de datos de alta resolución espacial y temporal. Los sistemas computacionales actuales y técnicas de proceso de grandes bases de datos pueden permitir análisis robustos que antes no eran posibles. ¿Es posible integrar herramientas de agricultura digital para el manejo de cultivos tendientes a cerrar las brechas de producción?

¿Cómo se pueden aprovechar las bases de datos existentes con técnicas de agricultura digital para una mejor interpretación de la experimentación a campo? ¿Cómo pueden emplearse datos digitales georreferenciados para asistir a la toma de decisión en los sistemas de producción agrícola?

#### Hipótesis de trabajo

La implementación de herramientas de agricultura digital tales como modelos computacionales de cultivos, plataformas de acceso a datos digitales y la disponibilidad de capas de datos digitales georreferenciados permiten evaluar en forma robusta el efecto de diferentes prácticas de manejo (rotaciones, uso del suelo, cultivos de servicio, fecha de siembra) para cerrar brechas de producción en sistemas de cultivos del Sur de Córdoba.

#### Objetivo general

Implementar herramientas de agricultura digital para el estudio de prácticas de manejo para cerrar brechas de rendimiento en sistemas de cultivos del Sur de Córdoba.

#### Objetivo específico

- I) Calibrar y validar el modelo de simulación APSIM como herramienta para evaluar el impacto de cultivos de servicio, rotaciones y prácticas de fertilización en ensayos de larga duración.
- II) Generar una plataforma digital para simular manejos de cultivo en la llanura ondulada para cuantificar la productividad, estabilidad de la producción y brechas de rendimiento.
- III) Generación de repositorio digital de datos con capas de información, en ensayo de larga duración para el análisis del impacto de prácticas de uso y manejo actuales e históricas.

## 12.2. METODOLOGÍA

- *Métodos y técnicas a emplear*
- *Tratamiento de los datos, análisis estadísticos, etc.*

Las herramientas de agricultura digital propuestas para la cuantificación de brechas productivas y del impacto de prácticas de manejo a emplear son modelos de simulación de paso diario, una plataforma digital de visualización y modelado de datos y un repositorio digital de datos digitales generados por el proyecto.

El proyecto se desarrollará en dos sitios experimentales representativos del área de influencia de la Universidad Nacional de Río Cuarto: el Campo Experimental de la UNRC Pozo del Carril, zona rural La Aguada (Sitio I) y Campo Experimental de Docencia e Investigación situado frente al Campus de la UNRC, en Río Cuarto, (Sitio II).

Los datos experimentales necesarios para la implementación del proyecto provendrán en un 50% de ensayos previos en ambos sitios experimentales donde se evaluaron prácticas de manejo relacionadas a la rotación, fertilización de cultivos, labranzas y combinación de prácticas en condiciones normales y en condiciones de cultivo para alcanzar rendimientos potenciales. Los cultivos de grano a incluir serán maíz y soja y centeno como cultivo de servicio. Se prevé la realización de nueva experimentación a campo para generar datos referentes producción de biomasa de centeno como cultivo de servicio y su efecto sobre el balance hídrico y nutricional del siguiente cultivo en la rotación. También se realizará experimentación para evaluar parámetros necesarios para calibrar el modelo de simulación para maíz, soja y centeno. Se utilizarán datos provenientes de los otros proyectos que conforman el programa del cual este proyecto es parte.

#### Metodología propuesta para cumplir el objetivo específico I

Modelo de simulación APSIM (Agricultural Production Simulation Model) es un modelo de simulación de sistemas agrícolas con la capacidad de evaluar no solo cultivos individuales sino rotaciones de cultivos. Posee un módulo de suelo, un módulo de clima y un módulo de manejo de cultivos y/o actividades pecuarias. (Archontoulis et al., 2014; Hochman et al., 2016; Keating et al., 2003; Martinez-Feria et al., 2016; Puntel et al., 2016).

La información de suelo necesaria para la generación de perfiles de suelo del área de estudio será obtenida de descripciones de perfiles realizadas con anterioridad en ambos sitios experimentales. Se generarán un perfil de suelo para el sitio Experimental Pozo del Carril ubicado en la zona rural del La Aguada, Departamento Río Cuarto, Córdoba. También se generarán otro perfil de suelo para el Campo de Docencia y Experimentación de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

La información meteorológica histórica necesaria para correr el modelo es temperatura mínima, máxima, precipitaciones y radiación solar. Todos estos parámetros con una periodicidad diaria de registro. Los datos serán provistos por el área de Meteorología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC que posee una estación meteorológica automática en cada sitio experimental mencionado. Se generarán dos archivos climáticos históricos de acuerdo a los requerimientos del modelo APSIM. La metodología detallada para la configuración del modelo APSIM puede ser encontrada en Balboa et al. (2019).

Los cultivos que se simularán en APSIM son maíz, soja, y centeno como cultivo de servicio Los factores a

evaluar en las simulaciones serán labranza (directa, reducida), fertilización (con y sin fertilizante) y rotaciones (maíz-soja, maíz-centeno (cc)-soja-centeno(cc), condición hídrica (secano, riego). La condición de riego se simulará mediante un módulo que mantenga el suelo al 90% de capacidad de campo para simular rendimientos sin limitaciones hídricas. Las salidas del modelo serán biomasa (Mg ha<sup>-1</sup>) total a madurez fisiológica, rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>) a madurez fisiológica, fecha de floración y de madurez fisiológica, absorción total de nitrógeno por el cultivo (kg N ha<sup>-1</sup>), agua total transpirada por el cultivo.

Generación de datos experimentales.

La generación de nuevos datos para alimentar al modelo de simulación provendrá de mediciones realizadas en el Ensayo de Labranzas y Usos de Larga Duración ubicado en La Aguada (Sitio I). También se realizarán mediciones en el ensayo anual de rendimiento potencial de maíz que realiza el área Producción de Cereales (Sitio II). En el ensayo de labranzas los factores evaluados son usos del suelo (agrícola sin pastoreo, agrícola con pastoreo y ganadero) labranzas (siembra directa, labranza reducida y reducida con paratril) fertilización (fertilizado y no fertilizado) cultivo de servicio (con cultivo de servicio y sin cultivo de servicio invernal). En el ensayo de rendimiento potencial de maíz los tratamientos incluyen condición hídrica (riego y secano) y densidades de siembra (6, 8, 10, 15 pl m<sup>-2</sup>). Se sembrará el mismo híbrido de maíz y la misma variedad de soja registrando los estadios de para el cálculo de los grados días a floración y grados días a madurez de ambos cultivos. La información de fenología, biomasa y grados días permitirá ajustar el material genético empleado en las simulaciones del cultivo. Para calibrar el modelo se medirá:

- producción total de biomasa de maíz y soja (Mg ha<sup>-1</sup>)
- rendimiento de grano en maíz y soja (kg ha<sup>-1</sup>)
- biomasa de centeno como cultivo de servicio al momento de terminación (Mg ha<sup>-1</sup>)
- ocurrencia de fenología de emergencia, floración, inicio del llenado de granos y madurez fisiológica
- Grados días totales del ciclo para maíz y soja

Revisión de experimentación previa en ambos sitios

Se realizará una revisión de trabajos de investigación, tesis de grado y posgrado, realizados en ambos sitios experimentales para recabar los datos de cultivos mencionados anteriormente con el objetivo de ampliar la base de datos para calibrar y validar las simulaciones en APSIM. Se recopilarán trabajos de los últimos 10 años registrándose las siguientes variables: sitio, cultivo, campaña, fecha de siembra, híbrido/variedad, fertilización (momento y dosis), rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>), producción total de biomasa a madurez fisiológica (Mg ha<sup>-1</sup>).

Análisis estadístico de los datos

Para evaluar el grado de ajuste del modelo se seguirá la metodología propuesta por (Balboa et al., 2019). Las salidas del modelo o datos simulados serán comparadas con los datos observados. La raíz cuadrada media del error relativa (RRMSE, a menor valor mejor), la eficiencia del modelo (E, a mayor valor mejor) y el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>, a mayor valor mejor) serán estimados (Archontoulis and Miguez, 2015). Los datos de campo y diferentes escenarios serán evaluados mediante análisis de la varianza (ANOVA) luego de chequear supuestos de normalidad (Shapiro-Wilks) y homogeneidad de varianza (F test). Las determinaciones estadísticas se realizarán en R (R CoreTeam, 2017). Los datos observados y simulados serán graficados mediante el software GraphPad Prism 7 (Motulsky and Christopoulos, 2003). La separación de medias será evaluada mediante la prueba LSD Fisher con un nivel de significancia de 0.05.

Metodología propuesta para cumplir el objetivo específico II

Para cumplir el objetivo específico II se realizarán múltiples simulaciones en APSIM con los parámetros calibrados y validados en el objetivo específico I. Las simulaciones se correrán para el periodo 1994-2021. En cada ciclo simulado se combinarán ocho fechas de siembra (01 sept, 15 sept, 1 oct, 15 oct, 1 nov, 15 nov, 1 dic, 15 dic. 1 ene, 15 ene.) y tres condiciones de agua en el suelo a inicio del cultivo: capacidad de campo, 50% de capacidad de campo y 20% de capacidad de campo.

Análisis estadístico de los datos

Se calcularán estadísticas descriptivas (media, CV, mínimo, máximo, percentil 25% y percentil 75%) por cultivo, fecha de siembra y condición hídrica inicial) agrupando todos los años simulados. Los datos podrán ser analizados mediante clasificación de años húmedos y cálidos, húmedos y frío, seco y cálido y seco y frío basados en la temperatura normal media y las precipitaciones normales del periodo agosto – marzo (Balboa et al 2019). En segundo lugar, el grupo de simulaciones será analizado mediante un script en R para calcular la probabilidad de ocurrencia de un determinado nivel de rinde para cada cultivo, fecha de siembra y condición de agua inicial produciendo salidas conocidas como “gráfico arcoíris”. Los mismos mostrarán la probabilidad de alcanzar un determinado rendimiento de acuerdo con el agua inicial en el suelo para una determinada fecha de siembra. Se concluirá sobre el conjunto de prácticas de manejo que permitan cerrar las brechas de rendimiento para los diferentes cultivos en el tiempo. Se generará una plataforma digital web para presentar los resultados de manera gráfica mediante una interfase interactiva que permita al usuario seleccionar diferentes combinaciones evaluadas en las simulaciones y observar gráficamente los resultados obtenidos.

### Metodología propuesta para cumplir el objetivo específico III

Evaluar el uso de herramientas que generen datos digitales georreferenciados continuos para cuantificar diferencias en las propiedades relevadas como respuesta a prácticas de manejo de uso, labranza y fertilización en las propiedades físicas y químicas del suelo. Este objetivo específico se desarrollará en el ensayo de labranzas y usos de larga duración ubicado en el Campo Pozo del Carril de la UNRC. Los datos a procesar serán:

- electroconductividad
- arena, arcilla, limo, pH, P, materia orgánica, densidad aparente (sensor de rayos gamma)
- Datos de nutrientes (MO, N, P, K, S, Zn) de muestras georreferenciadas
- Datos de textura de suelo de muestras georreferenciadas
- Datos de índice verde de muestras georreferenciadas
- Relevamiento altimétrico

Los datos georreferenciados mencionados serán provistos por colaboradores del área Producción de Cereales que desarrollan su actividad profesional en el ámbito de la Agricultura de Precisión interesados en evaluar como estas fuentes de datos digitales pueden contribuir para caracterizar diferentes manejos en sistemas productivos del Sur de la Provincia de Córdoba.

Los datos se procesarán mediante el sistema de información geográfica de código abierto Quantum GIS 3.2 Madeira para la generación de capas raster que muestren cada una de las propiedades evaluadas. En paralelo, el grupo de trabajo generará otras capas básicas para el procesamiento de los datos como lo son: mapa georreferenciado del establecimiento Pozo del Carril, mapa georreferenciado del ensayo de labranzas y usos de larga duración, mapa georreferenciado de trayecto Rio Cuarto – Establecimiento Pozo del Carril.

Todas las capas de datos digitales georreferenciados se almacenarán en un repositorio de datos digitales del Proyecto, en una carpeta Drive, dicho servicio es ofrecido por la FAV. Los datos serán compartidos con todos los proyectos del Programa y demás miembros de la UNRC y otros organismos que requieran hacer uso del mismo con fines de docencia, investigación y extensión. La generación de estas capas de datos digitales georreferenciados constituye el primer paso en la digitalización de la información para un futuro proyecto de “Granja Digital”.

### Análisis estadístico de los datos

Los datos georreferenciados obtenidos de colaboradores, así como también los relevados por el grupo de investigación serán procesados en el sistema de información geográfica quantum GIS. Se emplearán técnicas de extrapolado de datos para las propiedades evaluadas a los fines de convertir datos en formato vectorial a formato raster. Se correlacionará, a través del uso de técnicas de estadística espacial (Cordoba et a. 2016; Oliver 2010), las propiedades observadas en los mapas digitales generados del ensayo de larga duración del sitio I Pozo del Carril con los datos de producción y otras propiedades físicas y químicas de los suelos recolectadas en la base de datos propuesta en el objetivo específico I de este proyecto. Se comparará los resultados de propiedades químicas y físicas mencionadas iniciales del ensayo (año 1994) con los datos medidos en la actualidad.

## 12.3. ACTIVIDADES

*Describir brevemente las actividades a desarrollar.*

Las actividades del proyecto pueden dividirse en cuatro etapas. La etapa I es la revisión y recopilación en una base de datos de experimentación previa en el Sitio I y II acorde a lo descrito en el objetivo específico I. En paralelo se recopilarán datos meteorológicos y se configurarán los dos perfiles de suelo a simular. En una segunda etapa se configurará en el modelo APSIM las diferentes rotaciones y manejos de cultivo a simular. La tercera etapa comprende la generación de nuevos datos a campo para completar los datos requeridos de cultivos para calibrar el modelo APSIM. Se realizarán las simulaciones históricas para cumplir con el objetivo específico II. Se analizarán los resultados de las simulaciones y se generará una plataforma digital web para la presentación de los datos. Una cuarta etapa será la recopilación de las capas de datos digitales provistas por colaboradores y su análisis e interpretación como indicadores del cambio de diferentes propiedades físico químicas del suelo a lo largo de los años. Además del grupo de investigación se prevee la colaboración de dos tesis de grado en el proyecto, la participación de personal técnico de apoyo a campo en Sitio I y II. Se prevee la presentación de avances en jornadas con productores, un congreso y la escritura de un artículo científico para una revista con revisión de pares.

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

1º Año												
Actividades	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Generación de base de datos de experimentos previos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										

Siembra, seguimiento y cosecha de ensayo Sitio I	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Siembra, seguimiento y cosecha de ensayo Sitio II	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Configuración de módulos de suelo, clima y cultivo en modelo APSIM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Generación de simulaciones en APSIM para calibrar parámetros del cultivo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Generación de capas raster de datos digitales a partir de relevamientos de colaboradores en el sitio I	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Análisis y correlación de propiedades físicas y químicas de capas de datos digitales con evaluaciones iniciales (1994) del Sitio I	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capacitación de Higiene y Seguridad	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entrega de EPP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2º Año												
Actividades	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Siembra, seguimiento y cosecha de ensayo Sitio I año I	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Siembra, seguimiento y cosecha de ensayo Sitio II año I	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Siembra, seguimiento y cosecha de ensayo Sitio I año II	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>							
Siembra, seguimiento y cosecha de ensayo Sitio II año II	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>							
Generación de simulaciones en APSIM para calibrar características del cultivo medidas a campo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calibración del modelo APSIM con datos previos y datos medidos en ensayos nuevos año I sitio I y II	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presentación de resultados preliminares en Jornada a técnicos y productores	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Presentación de resultados preliminares en Jornada científica	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/>											
	<input type="checkbox"/>											
	<input type="checkbox"/>											
	<input type="checkbox"/>											
	<input type="checkbox"/>											



#### 12.4. RESULTADOS ESPERADOS

Defina brevemente los resultados del proyecto (resultado publicado / obra de software / diseño industrial / descripciones y/o interacciones de orden social / patente / transferencia / etc.) que espera sean considerados en la evaluación del mismo.

Los resultados esperados del proyecto son:

-una publicación científica en inglés en revista con referato (factor de impacto mayor a 1.5) reflejando los resultados obtenidos de la calibración y validación del modelo APSIM como herramienta para evaluar el impacto de practicas de uso y manejo de cultivos (i.e. fecha de siembra, cultivo de servicios, fertilización) para cerrar brechas de rendimiento en el área de estudio.

-presentación de datos preliminares en una reunión científica en el año II y III.

-presentación de resultados preliminares en una reunión con técnicos y productores en el año II y III.

-generación de primera plataforma web interactiva para divulgación de los principales resultados de las simulaciones historicas realizadas.

-primer repositorio digital de capas de datos digitales para el Sitio I Pozo del Carril, como paso fundamental para la elaboración de futuras propuestas de inclusión del Sitio en un proyecto de Agricultura Digital.

Se prevee la formación de dos tesis de grado que colaboraran con el desarrollo del proyecto.

#### 12.5. TRANSFERENCIA DE RESULTADOS – VINCULACIÓN CON EL MEDIO SOCIAL-PRODUCTIVO

¿Considera que los resultados del proyecto pueden ser de interés o transferidos a un potencial demandante? **Si**

En caso Afirmativo:

¿De qué ámbito sería el demandante? **Regional**

¿En qué plazos podría transferirse? **Tres Años**

#### 12.6. DATOS PARA RELEVAMIENTO DE ENTIDADES QUE REALIZAN ACT. CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

##### 12.6.a. CAMPOS DE APLICACION

Para completar información que requiere anualmente el Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Nación, se solicita indicar una opción de los siguientes campos de aplicación en donde crea que el proyecto queda encuadrado:

- Ciencias Exactas y Naturales
- Ingeniería y Tecnología
- Ciencias Médicas
- Ciencias Agrícolas y Veterinarias
- Ciencias Sociales
- Humanidades y Artes

##### 12.6.b. OBJETIVOS SOCIO ECONÓMICOS

Para completar información que requiere anualmente el Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Nación, se solicita indicar una opción de los siguientes Objetivos Socioeconómicos en donde crea que el proyecto queda encuadrado:

- Exploración y explotación de la Tierra
- Medio Ambiente
- Exploración y explotación del espacio
- Transporte, telecomunicación y otras infraestructuras
- Energía
- Producción y tecnología industrial
- Salud
- Agricultura
- Educación
- Cultura, recreación, religión y medios de comunicación
- Estructuras, procesos y sistemas políticos y sociales
- Producción general de conocimiento
- Defensa

#### 12.7. DATOS SIDIUN

Las siguientes son las áreas del SISTEMA NACIONAL DE DOCENTES INVESTIGADORES UNIVERSITARIOS, se solicita seleccionar una de las áreas, en donde crea que el proyecto queda encuadrado:

- Ciencias Naturales y Exactas
- Ciencias Médicas y de la Salud
- Ciencias Agrícolas y de los Recursos Naturales
- Ciencias Sociales
- Humanidades
- Ingenierías y Tecnologías

#### 12.8. BIBLIOGRAFÍA

Affholder, F., Poeydebat, C., Corbeels, M., Scopel, E., Tittonell, P., 2013. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modelling. *F. Crop. Res.* 143, 106–118. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.10.021>

Archontoulis, S. V., Miguez, F.E., 2015. Nonlinear regression models and applications in agricultural research. *Agron. J.* 107, 786–798. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0506>

Archontoulis, S. V., Miguez, F.E., Moore, K.J., 2014. A methodology and an optimization tool to calibrate phenology of short-day species included in the APSIM PLANT model: Application to soybean. *Environ. Model. Softw.* 62, 465–477. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.04.009>

Balboa, G.R., Archontoulis, S.V., Salvagiotti, F., Garcia, F.O., Stewart, W.M., Francisco, E., Prasad, P.V.V., Ciampitti, I.A., 2019. A systems-level yield gap assessment of maize-soybean rotation under high- and low-management inputs in the Western US Corn Belt using APSIM. *Agric. Syst.* 174, 145–154. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2019.04.008>

Balboa, G.R., 2014. Comparación agronómica de dos criterios de dosificación de nitrógeno en maíz en la llanura bien drenada del Centro y Sur de la Provincia de Córdoba. Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de maestría.

Balboa, G.R., 2008. Relación entre el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) y el rendimiento en grano de maíz (*Zea mays* L.) fertilizado con nitrógeno en diferentes zonas de manejo. Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de grado.

Córdoba, M.A., Bruno, C.I., Costa, J.L., Peralta, N.R., Balzarini, M.G., 2016. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. *Biosyst. Eng.* 143, 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.008>

Esposito, G., Balboa, G., Cerliani, C., Balboa, R., 2015. Rendimiento Potencial de Maíz, in: Garay, J., Colazo, J.C. (Eds.), *El Cultivo de Maíz En San Luis*. INTA Ediciones, p. 161.

Esposito, G.P., 2013. Análisis de la variabilidad espacio/temporal del ka respuesta al nitrógeno en maíz mediante un modelo econométrico mixto espacial. Universidad Nacional de Córdoba. Tesis doctoral.

Evans, L.T., Fischer, R.A., 1999. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. *Crop Sci.* 39, 1544–1551.

Fischer, R.A., Byerlee, D., Edmeades, G.O., 2014. Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world?

Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H., Navarro Garcia, J., 2016. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *F. Crop. Res.* 197, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.017>

ISPA, 2019. ISPA Newsletter 7(7) July 2019: Official Definition of PA, The Impact Factor, Workshop DAP for Turkey, 14th ICPA recap, Upcoming Events, Jobs [WWW Document]. ISPA Newsl. 7(7). URL <https://ispag.org/site/newsletter/?id=90> (accessed 9.23.19).

Jones, J.W., Antle, J.M., Basso, B., Boote, K.J., Conant, R.T., Foster, I., Godfray, H.C.J., Herrero, M., Howitt, R.E., Janssen, S., Keating, B.A., Muñoz-Carpena, R., Porter, C.H., Rosenzweig, C., Wheeler, T.R., 2017. Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agric. Syst.* 155, 269–288. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.021>

Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., Smith, C.J., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Eur. J. Agron.* 18, 267–288. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00108-9)

Liu, Z., Yang, X., Hubbard, K.G., Lin, X., 2012. Maize potential yields and yield gaps in the changing climate of northeast China. *Glob. Chang. Biol.* 18, 3441–3454. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02774.x>

Martinez-Feria, R.A., Dietzel, R., Liebman, M., Helmers, M.J., Archontoulis, S. V., 2016. Rye cover crop effects on maize: A system-level analysis. *F. Crop. Res.* 196, 145–159. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.016>

Motulsky, H., Christopoulos, A., 2003. Fitting Models to Biological Data Using Linear and Nonlinear Regression, A Practical Guide to Curve Fitting. GraphPad Software Inc., San Diego CA. <https://doi.org/10.1002/pst.167>

Oliver, M. A. (Ed.). (2010). *Geostatistical applications for precision agriculture*. Springer Science & Business Media.

Puntel, L.A., Sawyer, J.E., Barker, D.W., Dietzel, R., Poffenbarger, H., Castellano, M.J., Moore, K.J., Thorburn, P.J., Archontoulis, S.V., 2016. Modeling Long-Term Corn Yield Response to Nitrogen Rate and Crop Rotation. *Front. Plant Sci.* 7, 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01630>

R CoreTeam, 2017. R: A language and environment for statistical computing.

Rabbinge, R., 1993. The ecological background of food production. *Ciba Found. Symp.* 177, 2–29.

Trendov, N.M., Varas, S., Zeng, M., 2019. Digital technologies in agriculture and rural areas 26.

UNICEF, 2018. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2018 - UNICEF DATA*.

van Es, H., Woodard, J., Glos, M., Verteramo Chiu, L., Dutta, T., Ristow, A., 2016. *Digital agriculture in New York State - Report and recommendations*.

Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *F. Crop. Res.* 143, 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>

Van Wart, J., van Bussel, L.G.J., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Mueller, N.D., Claessens, L., van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *F. Crop. Res.* 143, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.023>