



**PRÁCTICA EN EL AJUSTE Y CALIBRACIÓN DE COEFICIENTES GENÉTICOS
PARA LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE DSSAT**

Perez Daniel Oscar

Trabajo final de graduación modalidad “PASANTÍA” para ser presentado como requisito
para optar al Título de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE**



Corrientes, Argentina.

Mayo 2021.

**PRÁCTICA EN EL AJUSTE Y CALIBRACIÓN DE COEFICIENTES GENÉTICOS
PARA LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE DSSAT**

Daniel Oscar Perez

Asesora:

Ing. Agr. (Mgter) Celsa Noemí BALBI

Asesora

Tribunal evaluador del Trabajo Final de Graduación:

Ing. Agr. Mauro M. SHINDOI

Tribunal Evaluador

Ing. (Mgter.) Claudia SCREPNIK

Tribunal Evaluador

Ing. Agr. Jorge GARCÍA

Tribunal Evaluador

AGRADECIMIENTOS

- Es conveniente agradecer a mis amigos y profesores que durante los años aportaron a mi formación personal y profesional. Lo más importante es que de todos ellos aprendí el valor del esfuerzo, la importancia de la responsabilidad y que la generosidad es mejor que la indiferencia.
- Agradecer a Celsa Balbi, mi directora. Fuiste la principal responsable para que iniciara esta aventura por los modelos de simulación y las herramientas tecnológicas en el agro. Por las largas horas de trabajo, los incansables viajes, pero sobre todo la energía y las ganas interminables para desarrollar una actividad.
- A mi familia y a mi hermano Javier. Siempre me apoyó y fue uno de los que me involucro a estudiar agronomía. A mi viejo que me enseñó el valor del trabajo y la gratitud de una tarea bien realizada. Mi madre, que siempre me ayudó en todo emprendimiento académico que tenía por delante.
- Por último, a nuestra gran casa de estudios, la querida Facultad de Ciencias Agrarias, que me dio las herramientas para desarrollarme y me abrió las puertas como a un hijo más.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ABREVIATURAS	VI
1. Introducción	1
2. Objetivo General	3
2.1 Objetivos Específicos	3
3. Localidad de estudio	4
3.1 Breve descripción del DSSAT	5
4. Desarrollo de las actividades	7
4.1 Construcción del archivo WTH con los datos meteorológicos	7
4.2 Construcción del archivo SOIL con los datos de suelo	9
4.3 Construcción del archivo X (Experimental) con los datos de manejo	9
5 Ajustes de coeficientes genéticos para los distintos cultivos	11
5.1 Maíz	13
5.2 Soja	16
5.3 Trigo	18
6 Análisis estadístico	19
7 Resultados	19
Ajustes	19
7.1 Maíz	19
a) Fenología	20
b) Rendimiento	21
7.2 Trigo	22
a) Fenología	22
b) Rendimiento	24
7.3 Soja	25
a) Fenología	25
b) Análisis de sensibilidad	26
8 Validación	29
9 Conclusiones	31
10 Bibliografía	33
11 Anexo.	37

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1. Resumen de los datos utilizados para operar los modelos de DSSAT (adaptado de Jones <i>et al.</i> , 2003).	6
Tabla 2. Orden y resumen de las actividades desarrolladas durante este trabajo para realizar el ajuste y validación de los diferentes modelos.	7
Tabla 3. Resumen de datos obtenidos mediante el archivo generador WTH_DSSAT.xlsm. Este es el formato correcto para utilizarla la información en el archivo clima.	8
Tabla 4. Archivo SOIL. Datos de suelos correspondiente a la serie Tizón. Valores utilizados y ajustados.	9
Tabla 5. Coeficientes genéticos para el maíz con el orden de ajuste y las variables de evaluación durante la calibración para el modelo CERES-Maize.	14
Tabla 6. Coeficientes genéticos modificados del archivo SPE; ECO para el cultivo de maíz.	16
Tabla 7. Coeficientes genéticos del archivo CUL en soja con el orden de ajuste y las variables de evaluación durante la calibración.	17
Tabla 8. Coeficientes genéticos del archivo ECO en soja que fueron modificados durante la calibración para el modelo CROPGRO.	17
Tabla 9. Coeficientes genéticos del archivo CUL en trigo que fueron modificados durante la calibración del modelo CERES-Wheat.	18
Tabla 10. Coeficientes genéticos para el maíz con los valores utilizados en el modelo CERES-Maize.	20
Tabla 11. Coeficientes genéticos para el trigo con los valores utilizados en el archivo CUL del modelo CERES-Wheat.	23
Tabla 12. Coeficientes genéticos para el cultivo de soja con los valores utilizados en el archivo CUL del modelo CROPGRO.	26
Tabla 13. Valores utilizados para la validación de los diferentes modelos (observados y simulados) con sus respectivos indicadores estadísticos. Valores de RMSE y CV% obtenidos mediante la herramienta GBluild v. 4.7.5 DSSAT.	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Variación anual de las precipitaciones y temperaturas en el INTA Las breñas. Datos obtenidos a través de la estación meteorológica desde el servidor SIGA 2.	4
Figura 2: Macros de Excel elaborado para ingresar los datos meteorológicos al software DSSAT. https://github.com/danielperezok	8
Figura 3: GenCal 2.0 programa listo para calibrar coeficientes; derecha. GLUESelect utilizado para minimizar los valores observados y estimados; izquierda.	13
Figura 4. Relación entre los días a floración (R1) observados y simulados con el modelo CERES-Maize, correspondiente al ajuste del cultivo de maíz. La línea llena indica la recta de regresión; línea punteada indica la recta $x=y$.	20
Figura 5. Relación entre los días a Madurez fisiológica (R6) observados y simulados con el modelo CERES-Maize, correspondiente al ajuste del cultivo de maíz. La línea llena indica la recta de regresión; línea punteada indica la recta $x=y$.	21
Figura 6. Relación entre el rendimiento (Kg/ha) observados y simulados con el modelo CERES-Maize, correspondiente al ajuste del cultivo de maíz. La línea llena indica la recta de regresión; línea punteada indica la recta $x=y$.	22
Figura 7. Relación entre los días a floración (Z6,5) observados y simulados con el modelo CERES-Wheat, correspondiente al ajuste del cultivo del cultivo de trigo. La línea llena indica la recta de regresión; línea punteada indica la recta $x=y$.	23
Figura 8. Relación entre los días a Madurez Fisiológica (Z9) observados y simulados con el modelo CERES-Wheat, correspondiente al ajuste del cultivo del cultivo de trigo. La línea llena indica la recta de regresión; línea punteada indica la recta $x=y$.	24
Figura 9. Relación entre el rendimiento (Kg/ha) observados y simulados con el modelo CERES-Wheat, correspondiente al ajuste del cultivo de trigo. La línea llena indica la recta de regresión; línea punteada indica la recta $x=y$.	25
Figura 10. Sensibilidad del modelo al utilizar diferentes valores en el parámetro EM-FL y su variación en días a floración (R1)	27
Figura 11. Sensibilidad del modelo al utilizar diferentes valores en el parámetro EM-FL y su variación en días a madurez fisiológica.	27
Figura 12. Sensibilidad del modelo al utilizar diferentes valores en el parámetro SD-PM y su variación en días de R5 a R7.	28
Figura 13. Sensibilidad del modelo al utilizar diferentes valores en el parámetro EM-FL y su variación en el índice de área foliar.	28
Figura 14. Relación entre el rendimiento en grano (base seca) observado y el estimado con los modelos del programa DSSAT 4.7, correspondiente a la validación de los cultivos de grano estudiados, para la localidad de Las Breñas (Chaco, Argentina). La línea llena indica la recta de regresión; línea punteada indica la recta $x=y$.	29

ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
A	Archivo Experimental del DSSAT
CARBOT	Parámetro de estrés modelos CERES-Maize
CC	Ciclocorto
CERES	Crop Environment REsource Synthesis
CV	Coeficiente de Variación (%)
DSSAT	Decision Support System of Agrotechnology Transfer
NDEF1	Índice de deficiencia de nitrógeno
O	Observados
PCARB	Producción potencial de materia seca
PRFT	Índice de estrés térmico
PRFTC	Temperatura para la cual la tasa fotosintética relativa se hace cero
RMSE	Raíz del error cuadrático medio
S	Simulados
SOIL	Archivos de suelos DSSAT
SWDF1	Índice de deficiencia hídrica
TMAX	Temperatura máxima
TMED	Temperatura media
TMIN	Temperatura mínima
WTH	Archivo de clima DSSAT
X	Archivos de datos observados DSSAT

1. Introducción

La demanda global de productos agrícolas continuará creciendo debido, principalmente, al crecimiento poblacional y al aumento de la calidad de la dieta por incrementos en el poder adquisitivo (Alexandratos y Bruinsma, 2012; Andrade, 2016). Esto no es un detalle menor, ya que la producción agropecuaria global es responsable en buena parte del impacto ambiental que las actividades antropogénicas tienen sobre los ecosistemas, por sus contribuciones a la emisión de gases de efecto invernadero y por la degradación de los suelos (Andrade, 2016).

Es por ello que debemos generar propuestas que incorporen sistemas de producciones sustentables a través de la ciencia, tecnología y conocimiento en red. En ese sentido, en los últimos 30 años, la agricultura argentina ha sido precursora en la aplicación de la tecnología como la siembra directa, la incorporación de biotecnología, la agricultura de precisión y el análisis de grandes volúmenes de datos mediante la agricultura digital.

La generación de estas propuestas para asegurar la estabilidad en el ingreso y superar los problemas de sustentabilidad comentados previamente es compleja, porque se requieren estudios que generalmente involucran ensayos de larga duración o seguimientos de casos. Las propuestas tienen diferentes limitaciones (Abbate, 2009), donde con frecuencia es difícil hacer una integración de todas las variables observadas. Esto se debe principalmente porque son grandes volúmenes de datos con los que se cuentan.

El manejo de grandes volúmenes de datos que luego se transforman en una información valiosa para la toma de decisiones en el sector agropecuario está aumentando rápidamente en respuesta a la demanda creciente de productos agrícolas y actualmente, biocombustibles. En ese sentido, los modelos de simulación aplicados a los cultivos agrícolas se basan en una colección de algoritmos que describen matemáticamente la respuesta de un sistema de cultivo a su entorno. Su utilización parte de la necesidad de integrar y relacionar los conocimientos de suelo, clima, cultivos y prácticas agrícolas en una herramienta que facilite la toma de decisiones.

Estos modelos de simulación de cultivos tienen varias aplicaciones actuales y potenciales en respuesta a temas relacionados con investigación, manejo de cultivos y planificación. Pueden ayudar a la comprensión de las interacciones genético-fisiológico-ambientales, con una

integración interdisciplinaria. Permiten definir estrategias de producción en la etapa de planificación de un cultivo futuro o bien ayudar a tomar decisiones tácticas durante el ciclo del cultivo tales como: prácticas culturales, fertilización, irrigación y uso de fitosanitarios. Además, como herramienta de planificación permiten cuantificar a través de la predicción, el impacto de los procesos de erosión, contaminación, distintas estrategias ante el cambio climático y el pronóstico de rendimiento a nivel regional (Boote et al., 1994).

Este es el caso del "Decision Support System for Agrotechnology Transfer" (DSSAT) (<http://www.icasa.net/dssat/index.html>), un software que permite simular situaciones más complejas, lo cual ha facilitado su empleo para resolver todo tipo de problemas agronómicos (Jones et al., 2003).

Para utilizarlo es importante realizar la evaluación del modelo, donde se puede distinguir entre la calibración, que se realiza habitualmente buscando el valor de los parámetros que minimizan las discrepancias entre el modelo y una serie de datos experimentales, y la validación, en la que se determina la bondad del modelo calibrado contrastando sus resultados con datos experimentales diferentes (independientes) de los empleados en la fase de calibración (Jones y Luiten, 1998).

Calibración es el proceso iterativo de búsqueda de los valores de los coeficientes que produzcan la menor discrepancia entre resultados simulados y observados, lo cual significa la medición, estimación o ajuste de sus valores para mejorar la precisión predictiva del modelo con respecto a algunas variables o a una(s) población(es) o escenario(s) agrícola(s) en particular. Cuando se desea emplear con éxito el modelo para una variedad que no se encuentra documentada en la base de datos, es necesario determinar los valores de los coeficientes genéticos que la caracterizan y registrarlos en el archivo de CULTIVAR (Boote et al., 1998). La obtención de los valores más adecuados de los coeficientes genéticos puede lograrse mediante la medición de variables en ambientes controlados y a través de su determinación en forma manual o automatizada (algoritmo GenCalc; Hunt et al., 1993) a partir de ensayos realizados en condiciones de campo.

En el NEA argentino, actualmente son pocos los trabajos de este tipo que permitan obtener coeficientes genéticos de cultivos para luego ser utilizados en diferentes situaciones (i.e modelación de la sustentabilidad de sistemas productivos) es por ello que con el uso de modelos

de simulación se podrá aproximar resultados, sin tantos costos de experimentación ni de datos puntuales que no puedan transferirse a otros casos regionales (Abbate, 2009).

2. Objetivo General:

- Practicar y entrenar en la utilización del software DSSAT para el ajuste y calibración de coeficientes genéticos para cultivos extensivos del sudoeste chaqueño.

2.1 Objetivos Específicos:

- Estimar parámetros genéticos de crecimiento de los cultivos: maíz, soja y trigo en el sudoeste chaqueño a través de datos climáticos, de suelo y fenológicos.
- Lograr práctica en ajustes de coeficientes de crecimientos de cultivos.
- Programar un archivo macro en Excel para la carga de datos al software DSSAT.

3. Localidad de estudio

El sistema de estudio está ubicado en la localidad de Las Breñas, más precisamente en la Estación experimental INTA Las Breñas, geográficamente ubicada a la Lat. S 27° 4' 4,04" y Lon. O 61° 3' 32,8". El tipo de clima que encontramos en el sudoeste chaqueño está clasificado como subtropical o templado cálido con estación invernal seca. Algunos la clasifican como "Clima de Sabanas". Los vientos prevalecen del sector NE, S y E con velocidades promedios de 7,3 km/h a 2 metros de altura y de 4,7 km/h a 50 cm, con intensidades mayores en los meses de primavera y menores en los de otoño. Las temperaturas máximas (TMAX) promedian los 28,1 °C anuales y las mínimas (TMIN) unos 14,9 °C, dando una temperatura media (TMED) anual de 21,1 °C. En verano las temperaturas son muy elevadas, llegando la máxima absoluta a 44,8 °C el 10 de diciembre de 1970, y en invierno son muy bajas, con una mínima absoluta de -7,5 °C registrado el 20 de julio de 1957.

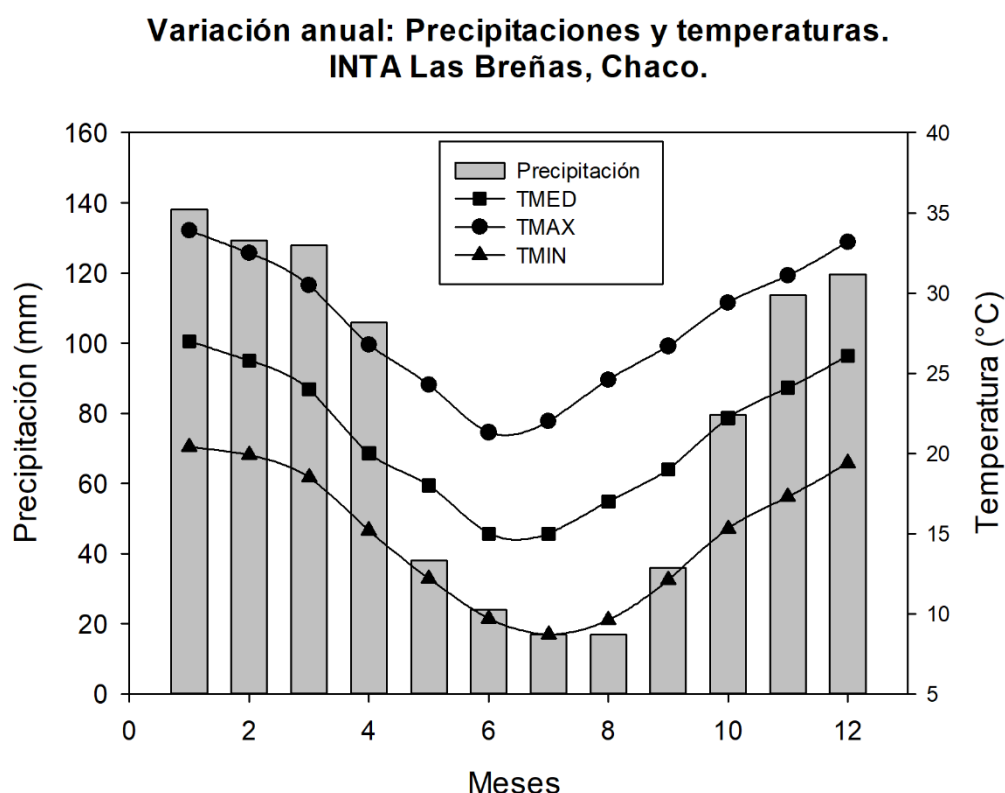


Figura 1. Variación anual de las precipitaciones y temperaturas en el INTA Las Breñas. Datos obtenidos a través de la estación meteorológica del servidor SIGA 2. Periodo 1967-2016.

El período libre de heladas agrometeorológicas es de 256 días con fechas medias para la 1ª helada el 31 de mayo y para la última helada el 3 de septiembre, y fechas extremas en la primera helada el 15 de abril y el 6 de octubre para la última helada agrometeorológica. El promedio anual de precipitaciones en la EEA Las Breñas es de 946,0 mm con un notable descenso en los promedios mensuales desde mayo a septiembre (fig. 1), en estos 5 meses se registran solo el 14% del total anual. La variabilidad de precipitaciones entre años es muy notable y esto hace que los valores oscilan entre 513,5 mm (año 2008) y 1550,1 mm (año 1986), (Herrera ,2009).

3.1 Breve descripción del DSSAT

DSSAT 4.7, (Hoogenboom *et al.*,2010a), *Decision Support System of Agrotechnology Transfer*, es un software interactivo que utiliza datos y modelos de cultivos para simular el crecimiento, desarrollo y rendimiento en función de la dinámica suelo-planta-atmósfera. Incluye diferentes programas, que integran los modelos de simulación (e.i., CERES-Maize, CERES-Wheat) con una base de datos, un programa de utilidades, y programas de aplicación de las simulaciones.

Para operar se requiere “un conjunto mínimo de datos” necesarios para correr un modelo (tabla 1) y dar salidas a los mismos. Son acompañados de herramientas de análisis de salidas, y de generación de información para las simulaciones (suelos, datos climáticos, calibración de coeficientes, etc.).

Para las aplicaciones, DSSAT combina bases de datos de suelos y clima con modelos de cultivos y programas de aplicación para simular los resultados de varios años de las estrategias de manejo. DSSAT integra los efectos del suelo, el fenotipo del cultivo, el clima y las opciones de manejo, y permite a los usuarios hacer preguntas de tipo "qué pasaría si" mediante la realización de experimentos de simulación virtual en una computadora de escritorio en minutos que consumiría una parte significativa de la carrera de un agrónomo si se realizaran como experimentos reales.

El ingreso de los datos puede ser realizado mediante la interfaz del usuario desde el programa o bien se puede ingresar modificando y/o agregando archivos en la carpeta original del mismo. Para ello se requiere una mayor experiencia utilizando la plataforma.

Tabla 1. Resumen de los datos utilizados para operar los modelos de DSSAT (adaptado de Jones et al., 2003).

Tipo de parámetro	Datos requeridos
De sitio	Latitud y longitud.
Climático	Datos diarios de: radiación solar global; precipitaciones; temperatura máxima del aire en abrigo; temperatura mínima del aire en abrigo.
Edáfico	Datos por horizonte: humedad de saturación; humedad de capacidad de campo; humedad de marchitez permanente; distribución de raíces; albedo; escurrimiento. Datos de todo el perfil: drenaje; densidad; carbono orgánico; pH; coeficiente de drenaje
Manejo de cultivo	Cultivar; ecotipo, especie; fecha, profundidad, espaciamiento y densidad de siembra; irrigación (fecha, cantidad y método); fertilización (fecha, cantidad, método y producto); labranzas (fecha y tipo); manejo de cosecha.

El conjunto mínimo de datos meteorológicos necesarios para los modelos DSSAT incluye valores diarios de radiación solar, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Estos valores iniciales permiten utilizar el método de evapotranspiración por FAO-56, en el caso que se desee utilizar el balance hídrico por Priestley-Taylor se debe contar con datos de humedad relativa, temperatura del punto de rocío y viento.

Además, el software cuenta con diferentes coeficientes genéticos específicos para cada cultivo. Sus valores, parámetros y descripción se encuentran dentro de los archivos cultivo (CUL), ecotipo (ECO) y especie (SPE).

El primer archivo, contiene parámetros que cuantifican las características morfológicas y fisiológicas de una determinada variedad, por ejemplo, sensibilidad al fotoperíodo, tiempo térmico de emergencia a floración, peso máximo de un grano, etc. En el archivo ECO, la fracción de proteína en semillas, tasa de aparición de hojas en el tallo principal, etc. Por último, el archivo SPE, cuenta con valores de temperatura base de desarrollo, temperatura óptima para crecimiento, tasa potencial de profundización de raíces, etc.

4. Desarrollo de las actividades

Los datos mínimos para operar en el software, así como los datos necesarios para realizar el ajuste y validación de los modelos se organizaron de la siguiente manera (tabla 2): datos meteorológicos, datos edáficos, manejo del cultivo, datos observados (ajuste de los coeficientes genéticos) y por último la presentación de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Orden y resumen de las actividades desarrolladas durante este trabajo para realizar el ajuste y validación de los diferentes modelos.

Orden	Actividad desarrollada	Resumen
1	Construcción del archivo WTH con los datos meteorológicos	Se elaboró un archivo de Macros en Excel. De manera automática, al ingresar los datos, genera un archivo que el software puede interpretar correctamente, sin necesidad de ingresar los datos manualmente.
2	Construcción del archivo SOIL con los datos de suelo	Los datos de suelo se ingresaron al sistema de forma manual y luego se ajustaron valores como: albedo, coeficiente radicular y capacidad de retención de agua.
3	Construcción del archivo X (Experimental) con los datos de manejo de los cultivos (Trigo, Maíz, Soja)	Las condiciones de manejo fueron las que se utilizaron durante los ensayos de macroparcels de las diferentes redes (RET, RECSO, Red Maíz). Las mismas se obtuvieron a través del INTA, Las Breñas.
4	Construcción del archivo A con los datos observados	Los datos fenológicos y de crecimiento se agregaron a la herramienta <i>Experimental Data</i> , donde se detallan las diferentes fechas (DOY) y valores cuya medición solo se realiza una vez, i.e: Fecha de floración, Madurez Fisiológica, Rendimiento.
5	Ajustes de los coeficientes genéticos	Se utilizó la herramienta GenCal y GLUE select para ajustar los coeficientes genéticos.
6	Validación	Mediante datos independientes a los utilizados para ajustar los diferentes modelos, se validaron los mismos. La variable utilizada fue la de rendimiento en Kg/ha.
7	Resultados obtenidos	Mediante el software SIGMAPlot 12.0, y el EasyGraph (DSSAT) se realizó el análisis estadístico para comprobar la bondad del ajuste del modelo.

4.1 Construcción del archivo WTH con los datos meteorológicos

Los datos de sitio y clima (1967 – 2016) se obtuvieron de la estación agrometeorológica INTA Las Breñas, Departamento 9 de Julio, Chaco. En el caso de información faltante, sólo se utilizaron datos provenientes del servidor de la NASA POWER, que proporciona conjuntos de datos solares y meteorológicos (NASA) para respaldar las necesidades agrícolas, entre otras cosas (Stackhouse *et al.*, 2018).

Al ingresar los datos agrometeorológicos se requiere un lenguaje de caracteres especiales para que el programa los pueda interpretar correctamente. Para este trabajo se desarrolló un archivo WTH_DSSAT.xlsm (macros de Excel, Fig.2) para poder ingresar los datos meteorológicos y que este, al exportarlo, brinde automáticamente un archivo **WTH** que puede ser leído por DSSAT. 4.7. El archivo WTH_DSSAT.xlsm se encuentra disponible en el repositorio GitHub.

LAT	-27.08	CCO2	380	<input type="button" value="GENERAR WTH"/> <input type="button" value="RESTABLECER"/>		Consideraciones Radiacion (MJ/m2/d) Temperatura (Grados celcius) Lluvia (mm) Viento (Km/dia) Humedad (%)	
LONG	-61.10						
ALT	180.00						
SIGLA	INLB						

DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
01/01/2016	28.30	33.90	21.10	0.00					
01/02/2016	28.90	36.20	25.20	0.00					
01/03/2016	17.40	35.10	24.60	0.80					
01/04/2016	19.00	32.90	22.80	0.00					
01/05/2016	25.70	33.50	23.80	0.00					
01/06/2016	28.50	34.70	24.50	0.00					
01/07/2016	28.10	33.50	22.70	0.00					
01/08/2016	27.20	35.30	22.20	0.00					
01/09/2016	21.40	35.10	23.90	0.00					
01/10/2016	29.70	38.10	23.70	0.00					
01/11/2016	29.00	38.10	25.50	0.00					
01/12/2016	24.00	40.10	26.80	66.50					
01/13/2016	7.85	26.80	23.50	3.00					
01/14/2016	25.79	34.30	23.90	0.00					
01/15/2016	30.50	35.30	24.40	0.00					
01/16/2016	29.10	35.70	21.80	0.00					
01/17/2016	29.79	38.00	21.80	0.00					
01/18/2016	28.10	37.70	24.80	0.00					
01/19/2016	29.38	39.10	20.80	0.00					
01/20/2016	30.20	40.10	22.90	0.00					
01/21/2016	29.50	39.80	21.80	0.00					
01/22/2016	29.80	41.00	22.90	0.00					

Figura 2: Macros de Excel elaborado para ingresar los datos meteorológicos al software DSSAT.

<https://github.com/danielperezok>

El Macros también brinda la posibilidad, no solo de agregar datos agrometeorológicos del año en que se realiza el experimento, además se puede cargar hasta una serie 30 años y de manera automática se discriminaron en el archivo de salida por cada año puntual, diferenciación necesaria para ingresar al software.

Tabla 3. Resumen de datos obtenidos mediante el archivo generador WTH_DSSAT.xlsm. Este es el formato correcto para utilizar la información en el archivo clima.

```

1 WEATHER DATA: Las Breñas- Chaco
2
3 @ INSI      LAT      LONG  ELEV  TAV  AMP  REFHT  WNDHT
4  INLB      -27.083  -61.100  180  21.8  5.9  -99.0  -99.0
5 @DATE  SRAD  TMAX  TMIN  RAIN  DEWP  WIND  PAR  EVAP  RHUM
6 09001  16.7  33.9  22.1  0.0
7 09002  11.3  29.0  19.3  4.0

```

4.2 Construcción del archivo SOIL con los datos de suelo

Los datos edáficos se obtuvieron de la Carta de Suelos de la República Argentina, provincia del Chaco (INTA, 2004) escala 1:50.000, utilizando la Serie Tizón para el lugar de estudio. La humedad volumétrica de capacidad de campo y humedad de marchitez permanente se calculó a partir de la distribución textural, por medio de las funciones de pedotransferencia desarrolladas por Travasso y Suero (1994). El valor de humedad a saturación se estimó utilizando el programa “SBuild” presente en el programa DSSAT 4.7.

En el caso de los coeficientes de suelo que requiere DSSAT 4.7, en primera instancia se utilizaron valores en base a las tablas propuestas en el manual de DSSAT V3 (Uryasev *et al.*, 2004). Luego se modificaron con el objetivo de tener un suelo compatible con un bajo error de estimación. Los coeficientes de suelo ajustados fueron: exploración de raíces y albedo.

Tabla 4. Archivo SOIL. Datos de suelos correspondiente a la serie Tizón. Valores utilizados y ajustados.

```
*INLB201501  Carta INTA  CL      160 Tizón
@SITE          COUNTRY          LAT      LONG SCS FAMILY
Las Breñas    Argentina        -27.08  -61.09 Haplustol Óxico
@SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
BN      .13    6    .4    81    1    1 IB001 IB001IB001
@SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLHW
19     Ap   .218  .392  .515    1   .23  1.19  1.25  31.5  46.9  7.7
      34     A   .22  .384  .491  .589  .15  1.27  .59  35.6  48.2  7.6
      51    BW1 .214  .366  .482  .427  .15  1.3   .27  36.1  46.2  7.9
      81    BW2 .198  .336  .469  .267  .23  1.34  .12  33.7  41.9  8.2
     123     C   .172  .326  .488  .13   .15  1.29   0  29.3  52.2   9
     144    CK1 .164  .321  .488  .069  .15  1.29   0  27.5  54.8  9.1
    160    CK2 .138  .301  .495  .048  .68  1.27   0  22.4  59   9.2
```

4.3 Construcción del archivo X (Experimental) con los datos de manejo de los cultivos

Las condiciones de manejo para el ajuste fueron las mismas que las reportadas por los ensayos de las diferentes redes de evaluación de cultivares. La fecha de siembra establecida para cultivo de maíz es el mes de enero (de primera, tardío). La densidad de siembra utilizada fue de 6.4 plantas/m², que son valores promedios para la región (Gallego, 2015). En cuanto a la

fertilización no se realizó ningún tratamiento, todas las experiencias en el cultivo de maíz tuvo como antecesor soja. Para obtener las condiciones hídricas iniciales, los experimentos comenzaron a la simulación siete (7) meses antes de la fecha de siembra. Así, se pretendió lograr un correcto balance hídrico a través del mismo programa, simulando las condiciones reales al momento de la siembra.

Para el cultivo de trigo, la fecha de siembra promedio de un ciclo corto (CC); 10/20 de junio respectivamente, con una densidad de 330 plantas/ m². El parámetro más importante para este cultivo es el contenido de agua en suelo al momento de la siembra, ya que durante el crecimiento y desarrollo las precipitaciones son muy pocas (Sauer, 2020., comunicación personal). Es por esto que se realizó un ajuste del contenido de agua según valores reportados por los ensayos de macroparcels. El contenido de Nitrógeno (N), tanto para el cultivo de maíz, trigo y soja, se ajustó mediante trabajos realizados por Cáceres Díaz *et al.*, (2009). Para el caso de la serie Tizón es de 38 ppm (NO₃). Los esquemas de fertilización, en el caso de existir, se detallan más adelante para cada cultivo en particular.

Para el cultivo de soja, se utilizaron datos provenientes de la RECSO (Red Nacional de Cultivares de Soja, 2015;2016;2018). La discontinuidad en los datos fenológicos y de crecimiento, fue una limitante para obtener diferentes valores necesarios para ajustar y validar los coeficientes genéticos. Es por esto, que para todos los parámetros modificados se decidió realizar un análisis de sensibilidad (White *et al.*, 2007) dando la posibilidad futura de utilizar estos valores validando con mediciones a campo.

Las fechas de siembra, floración, madurez fisiológica que se utilizaron para realizar este análisis (observados) corresponde a las reportadas por la mayoría de los productores de la zona. Esto es; siembra: desde el 1 al 15 de diciembre; floración (R1) en promedio 35 días y madurez fisiológica 120 días.

Todos los datos se pueden descargar de forma online en la página web del INTA, Las Breñas.

5. Ajustes de coeficientes genéticos para los distintos cultivos: consideraciones generales

Los datos utilizados para ajustar y validar los modelos de cultivos se llevaron adelante en la Estación Experimental INTA Las Breñas, Chaco. Se utilizó el módulo EXPERIMENTAL (Thornton *et al.*, 1995) del programa DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) versión 4.7 (Hoogenboom *et al.*, 2010a) para estimar la fenología y la producción grano de los cultivos de trigo (*Triticum aestivum*), soja (*Glycinemax*) y maíz (*Zea mays*) y de esa manera realizar el ajustes y validación del modelo.

El procedimiento para obtener estos coeficientes genéticos se divide en dos etapas: a) el ajuste o calibración, que consiste en la obtención de algún parámetro de interés a partir de ensayos experimentales a campo y/o en laboratorio; b) validación de los mismos. La metodología de trabajo fue la siguiente:

- i) Los datos fenológicos y de productividad fueron obtenidos mediante ensayos realizados en macroparcels a través de las diferentes Redes de evaluación de cultivares (Maíz, RECSO, Red cultivares de Trigo), en la estación experimental INTA Las Breñas. Los datos observados para el ajuste de los coeficientes genéticos, fueron el promedio de todos los cultivares evaluados (discriminados por ciclo, grupo de madurez, híbrido tropical o templado) en cada ensayo de evaluación de cultivares.
- ii) Se utilizaron la información correspondiente a la duración de las fases vegetativas y reproductivas de cada cultivo y el efecto de variables como temperatura, fotoperíodo y la duración de la fase de llenado de granos hasta alcanzar la madurez fisiológica. Para el criterio en la utilización de los datos, las observaciones en las que el rendimiento del ensayo fue menor al 50% del total de los años, se descartaron debido a que los modelos tienen menor precisión en situaciones extremas. Siempre se utilizó la información proveniente de ensayos de campo y solo se recurrió a datos de la bibliografía cuando la información local no estuvo disponible.
- iii) Luego se comenzó a determinar los coeficientes genéticos de crecimiento y de desarrollo, requeridos por los modelos para la caracterización de los cultivares a utilizar (el método utilizado se detalla más adelante).
- iv) La bondad de la calibración se evaluó comparando los resultados observados (O) y simulados (S), siendo mejor el comportamiento del modelo cuanto menor sea la

diferencia O-S. Para el análisis de estas diferencias se emplearon métodos estadísticos como los valores de raíz del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés), coeficiente de variación (CV), y coeficientes de determinación (r^2), entre O y S para analizar cuánto se aparta la regresión lineal entre esos valores de la recta (ideal) 1:1 y si las diferencias O-S producen sobre o subestimaciones sistemáticas con valores altos o bajos de la variable observada (Ovando y Dardanelli, 2002).

Se utilizó la herramienta GenCalc (Hunt *et al.*, 1993; Hoogenboom *et al.*, 2010b) presente el software DSSAT 4.7 para calibrar coeficientes genéticos. Se debe hacer una salvedad, ya que uno de los requisitos es que los datos de entrada del modelo de cultivo estén completos y que los tratamientos que se están utilizando para la calibración del modelo no hayan estado expuestos a ningún estrés (i.e., sin estrés hídrico ni nutricional), pero en este trabajo se utilizaron ensayos manejados bajo condiciones de secano a campo (subpotenciales). Al no existir un impedimento teórico para realizar el ajuste de coeficientes en situaciones subpotenciales (Laulhe, 2015), sumado a la gran cantidad de datos que existen en estas condiciones y a que tanto los errores de ajuste como los de validación fueron aceptables, se realizó satisfactoriamente bajo estas condiciones subpotenciales el ajuste y la validación de los coeficientes.

Cuando se ajustó determinado coeficiente genético, se utilizó una variable de evaluación de fácil medición, cuyo valor estimado dependiera, lo más directamente posible, del coeficiente a ajustar (e.i., fecha de floración, fecha de madurez fisiológica). El ajuste de los coeficientes comenzó por los coeficientes cuya variable de evaluación fuera independiente de los coeficientes aún no ajustados (e.i., P1; P2).

La forma de operar del GenCalc este programa es la modificación sucesiva (iterativa) del valor del coeficiente a ajustar, hasta minimizar el error estándar de estimación porcentual (EEE%) entre los datos observados y estimados. Para ayudar a minimizar aún más el valor entre O y S también se utilizó la herramienta GLUESelect (Jones *et al.*, 2011) que utiliza un método Bayesiano para estimar los valores y la incertidumbre asociada para cada cultivar o coeficiente genético. Se requiere una gran cantidad de simulaciones para poder obtener una estimación precisa de los coeficientes de cultivo, para todos los cultivos el valor mínimo fue de 6000 simulaciones. Primero se simulaban valores para los coeficientes fenológicos y después para los de crecimiento, de esta manera se pretende lograr un mejor ajuste. El conjunto mínimo de

datos de cultivo requerido para estos cálculos incluye fecha de emergencia, antesis, madurez, rendimiento de grano, biomasa aérea (Ramawat *et al.*, 2012). El procedimiento para determinar los coeficientes implicó ejecutar el modelo usando el rango de valores de cada coeficiente en el orden indicado (ver tablas para cada modelo), hasta que se alcanzó el nivel deseado de concordancia entre los valores simulados y observados.

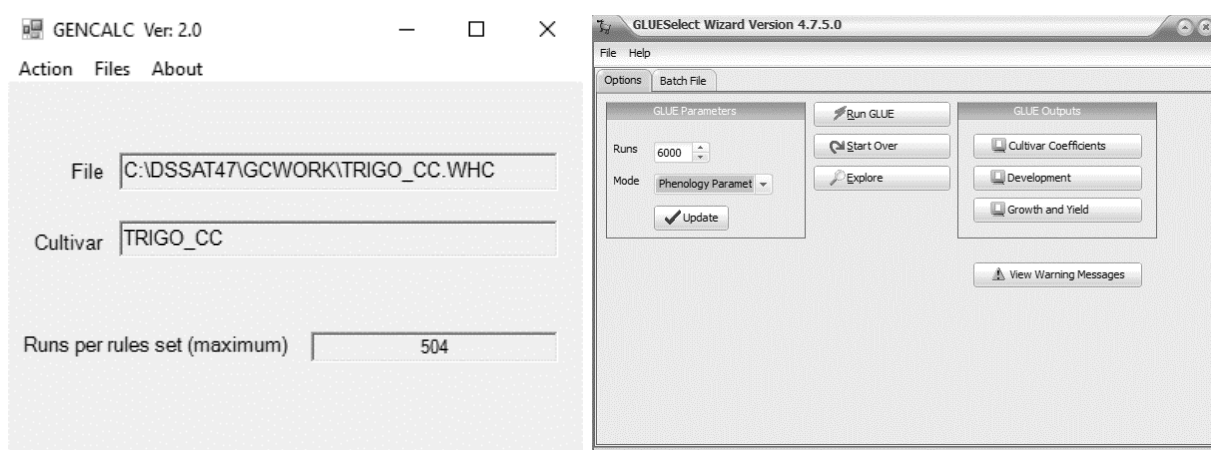


Figura 3. GenCal 2.0 programa listo para calibrar coeficientes; derecha. GLUESelect utilizado para minimizar los valores observados y estimados; izquierda.

Una vez calibrado y/o ajustado el modelo se procedió a la validación del mismo. La validación consistió en realizar simulaciones con el modelo a partir de un conjunto de datos observados independientes empleando los mismos parámetros del cultivo con que se calibró el modelo.

5.1 Maíz

En el cultivo de maíz se utilizó el modelo CERES-Maize (Jones y Kiniry, 1986) que utiliza el fotoperíodo y la temperatura para predecir el desarrollo fenológico. Hay seis parámetros o coeficientes genéticos, que describen el ciclo de cada cultivar (cuatro fenológicos y dos de crecimiento), la totalidad de los parámetros fueron modificados (tabla 5).

Tabla 5. Coeficientes genéticos para el maíz con el orden de ajuste y las variables de evaluación durante la calibración para el modelo CERES-Maize.

Coeficiente	Descripción	Orden	Variable de evaluación
P1	Suma de temperaturas (expresada en grados día sobre una temperatura base de 8°C) desde la emergencia hasta el final de la etapa juvenil.	2	Fecha de floración
P2	Sensibilidad fotoperiódica, establecida en días de retraso del panojamiento por cada hora de aumento del fotoperíodo por encima de un valor umbral de 12,5 horas.	3	Fecha de floración
P5	Suma de temperaturas desde la aparición de los estigmas a madurez fisiológica	4	Duración (en días) del período floración- madurez
PHINT	Suma de temperaturas, entre apariciones sucesivas de ápices foliares (PHINT).	1	Fecha de floración
G2	Máximo número posible de granos por planta	5	Número de granos/planta.
G3	Tasa de llenado de granos durante la fase lineal, bajo condiciones óptimas (mg d-1).	6	Peso por grano.

CERES-Maize simula el crecimiento y el desarrollo del área foliar, la intercepción de la luz, la fotosíntesis y la distribución de la biomasa en las distintas partes de la planta (raíz, tallos, hojas, etc.). Si se activa el balance de nitrógeno (N) el modelo estima la deficiencia de N y sus efectos sobre el crecimiento del cultivo (Jones y Kiniry, 1986).

Para la producción de biomasa se calcula la radiación fotosintéticamente activa (**PAR**, Mj/m²) a partir de la radiación solar diaria SRAD (langleys/día o cal/cm² día).

$$PAR = SRAD \times 0,02^* \quad (\text{Ec. 1})$$

*0,02 resulta del factor de conversión de unidades cal/cm² a Mj/m² (0,04) y de considerar que sólo el 50 % de la radiación solar registrada es PAR.

La producción potencial de materia seca (**PCARB**, g/planta día), considera una eficiencia de uso de la radiación (RUE) de 4,2 g/Mj.

$$PCARB = 2.1 \frac{SRAD}{PPOP} \cdot (1 - e^{(YI \cdot LAI)}) \quad (\text{Ec. 2})$$

PPOP= número de plantas/m², *LAI*=índice de área foliar, *e* *YI*=coeficiente de extinción.

$$YI = 1,5 - 0,768 ((PLRS * 0.01)^2 * PPOP)^{0,1} \text{ (Ec. 3)}$$

$PLRS = \text{Espacio entre hileras}$

Se utilizó la función **AMIN1** para identificar al valor mínimo de tres índices de estrés y establecer la producción diaria de materia seca a partir de PCARB:

$$CARBOT = PCARB * AMIN(SWFD1; NDEF1; PRFT) \text{ (Ec. 4)}$$

Donde **SWDF1** es el índice de estrés para la deficiencia hídrica, que se calcula a partir del balance de agua, **NDEF1** es un índice de deficiencia de nitrógeno calculado a partir del balance de nitrógeno y **PRFTC** es un índice de estrés térmico calculado con las temperaturas mínimas y máximas. De estas ecuaciones mencionadas y para modelar con CERES-Maize se modificaron los coeficientes genéticos en los archivos de especie (SPE), ecotipo (ECO) y cultivar (CUL). En el archivo SPE se modificó el parámetro **CARBOT** principalmente porque muchas veces situaciones de estrés hídrico, muy comunes en nuestra región, resultaban en el final del ciclo o en crecimientos muy inferiores a los presentes. Con un valor de **CARBOT** superior se minimiza este problema.

En el parámetro **PRFTC** (archivo SPE) se ajustó sobre dos temperaturas cardinales de la respuesta de la fotosíntesis, de la misma forma a lo realizado por Laulhe, 2015. La temperatura para la cual la tasa fotosintética relativa se hace cero ($T_{PRFTC(1)}$), se estimó a partir de la relación entre eficiencia de uso de la radiación (EUR) y temperatura obtenida por Rattalino *et al.* (2013), para híbridos tropicales.

$$EUR = -1,8 + 0,27 T_{PRFTC(1)} = T_{PRFTC(1)} = \frac{1,8}{0,27} = 6,7 \text{ } ^\circ C \text{ (Ec. 5)}$$

La temperatura mínima a partir de la cual la EUR es máxima ($T_{PRFTC(2)}$), se estimó para una EUR máxima = 4,2 g/MJ por (Rattalino *et al.*, 2013)

$$4,2 = 1,8 + 0,27 T_{PRFTC(2)} = T_{PRFTC(2)} = \frac{4,2 + 1,8}{0,27} = 22,2 \text{ } ^\circ C \text{ (Ec. 6)}$$

Por último, en el archivo ECO se utilizó un coeficiente de extinción (KCAN) dentro del rango de los valores reportados por la bibliografía (Andrade *et al.*, 2002). A continuación, se muestra un resumen de las modificaciones efectuadas en los archivos de ecotipo y especie. Todos los valores utilizados fueron en base a la bibliografía consultada.

Tabla 6. Coeficientes genéticos modificados del archivo SPE; ECO para el cultivo de maíz.

Archivo	Parámetro	Descripción	Valor por defecto	Valor usado	Bibliografía
SPE	CARBOT	Número de días consecutivos en los que el crecimiento es menor a 0,0001g/planta antes que la planta madure por estrés térmico, hídrico o nutricional.	7	100	Laulhe, 2015.
	PRFTC	La temperatura para la cual la tasa fotosintética relativa se hace cero ($T_{PRFTC(1)}$);	6.2	6.7	Rattalino <i>et al.</i> , 2013
		TMIN mínima a partir de la cual la EUR es máxima ($T_{PRFTC(2)}$)	16.5	22.2	
ECO	KCAN	Coeficiente de extensión	0,85	0,65	Sandez A <i>et al.</i> , 2018.

5.2 Soja

El módulo de soja de CROPGRO se basó en el modelo SOYGRO V4.2 (Wilkinson *et al.*, 1983) pero ha sido sustancialmente modificado de la versión original (Hoogenboom *et al.*, 1992; Jones *et al.*, 2003). El crecimiento es impulsado por un modelo de intercepción de luz (Boote y Pickering, 1998) combinado con un modelo de fotosíntesis a escala de hojas basado en el enfoque de Farquhar para simular la respuesta al CO₂ (Alagarswamy *et al.*, 2006). El desarrollo vegetativo y reproductivo es impulsado por la temperatura y el fotoperiodo calculados en un intervalo de tiempo por hora (Boote *et al.*, 1998). Los coeficientes genéticos para el desarrollo reproductivo están bien parametrizados para la gama completa de grupos de madurez de la soja de 00 a X (Grimm *et al.*, 1993). Se modificaron algunos parámetros para obtener una calibración aceptable (tabla 7 y 8).

Tabla 7. Coeficientes genéticos del archivo CUL en soja con el orden de ajuste y las variables de evaluación durante la calibración.

Coeficiente	Descripción	Orden	Variable de evaluación
CSDL	Fotoperiodo crítico debajo del cual el progreso del desarrollo reproductivo no tiene efecto del fotoperíodo	1	Fecha de floración
EM-FL	Tiempo entre emergencia y floración (R1) (d fototermales)	2	Fecha de floración
SD-PM	Tiempo entre primera semilla (R5) y madurez fisiológica (R7) (d fototermales)	3	Fecha de madurez
WTPSD	Máximo peso de semilla (g)	4	Peso del grano

Tabla 8. Coeficientes genéticos del archivo ECO en soja que fueron modificados durante la calibración para el modelo CROPGRO.

Archivo	Parámetro	Descripción	Valor defecto	Valor usado	Bibliografía
ECO	FL-VS	Tiempo desde primera flor hasta última hoja en tallo principal (días fototermales)	9	20	Baigorri 1994

Se tomó los valores iniciales por defecto que el modelo dispone (Grimm *et al.*, 1993), utilizando al grupo de madurez número VI corto. Esto se debió a que es un grupo que en los últimos años ha tenido gran relevancia en la zona (Zago Matías, comunicación personal). Se utilizaron datos provenientes de la RECSO y Red de cultivares de Soja de la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (AAPRESID): fecha de siembra, días a floración y rendimiento. La discontinuidad en los datos fenológicos y de crecimiento, fue una limitante para obtener diferentes valores necesarios para ajustar y validar. Es por esto que para todos los parámetros modificados (tabla 7) se realizó un análisis de sensibilidad (White *et al.*, 2007) para dar la posibilidad futura de utilizar estos valores validando con mediciones a campo. Este método permite buscar de manera iterativa el valor de un determinado parámetro que más se aproxima a los datos observados.

El análisis se realizó a través de la herramienta *Sensitivity analysis* (White *et al.*, 2007) presente en el software. Se eligió un rango de 5 a 10 interacciones, con un valor inicial que depende de coeficiente ajustado y mediante este análisis de sensibilidad, obteniendo datos de crecimiento

y desarrollo, se podrán visualizar las combinaciones de mejor ajuste con los valores observados.

Las fechas de siembra, floración y madurez fisiológica que se utilizaron para realizar el ajuste corresponden a los datos reportados por la mayoría de los productores de la zona. Esto es; siembra: desde el 1 al 15 de diciembre; floración (R1) en promedio 40 días y madurez fisiológica 120 días. Las observaciones tomadas para este experimento corresponden solamente a 2 años.

5.3 Trigo

CERES (Crop EnvironmentResourceSynthesis) -Wheat (Ritchie *et al.*, 1985) es un modelo basado en procesos y orientado al manejo que puede simular el crecimiento y desarrollo del trigo afectados por diferentes niveles de agua y nitrógeno (Ritchie *et al.*, 1998). El modelo CERES-Wheat simula el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos teniendo en cuenta los efectos del clima, la genética, el suelo (agua, carbono y nitrógeno), la siembra, el riego y el manejo de fertilizantes nitrogenados.

Para el cultivo de trigo solo basto con ajustar los coeficientes genéticos del archivo CUL (tabla 9). Se utilizaron datos provenientes de los informes de evaluación de cultivares de trigo INTA Las Breñas (2016-2019; 2017, no publicados).

Tabla 9. Coeficientes genéticos del archivo CUL en trigo que fueron modificados durante la calibración del modelo CERES-Wheat.

Coeficiente	Descripción	Orden	Variable de evaluación
P1D	Respuesta a fotoperíodo (porcentaje de reducción de la tasa /10 horas menos de fotoperíodo)	1	Fecha de floración
P1V	Días requeridos para vernalización, bajo temperatura de vernalización óptima (d)	2	Fecha de floración
P5	Duración de la fase de llenado de granos, sin considerar fase lenta (°Cd	3	Fecha de floración
G1	Número de granos por unidad de peso de canopia en antesis (granos/g)	4	Número de granos/planta.
G2	Tamaño de grano estándar bajo condiciones óptimas (g/grano)	5	Peso por grano.

6. Análisis estadísticos

La precisión del modelo se evaluó mediante el coeficiente de determinación (r^2) entre los valores simulados y observados. También se utilizó la raíz del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés) entre los datos simulados y observados. El RMSE (Eq. 7) es una medida de uso frecuente de las diferencias entre los valores predichos por un modelo y los valores realmente observados (Ramawat *et al.*, 2012), además el valor de RMSE se utilizó para calcular el coeficiente de variación (CV, Eq. 8). Se utilizó la siguiente fórmula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$CV (\%) = RMSE * 100 / \mu \quad (\text{Eq. 8})$$

Donde n es el número de observaciones y μ es el valor medio observado, y_i ; x_i son los valores simulados y observados respectivamente.

7. Resultados

7.1 Maíz

a) Fenología

Los coeficientes genotípicos que se obtuvieron durante el ajuste se pueden observar en la tabla 10. La diferencia promedio entre los días simulados y observados desde siembra hasta la floración (R1) osciló entre 0 y 2 días. Por lo tanto, la Fig. 4 muestra una estrecha correspondencia entre el número de días observado y simulado hasta la floración (R1), con un valor RMSE de 1,73 y un CV de 2,14%. De manera similar el número de días observado y simulado hasta la madurez fisiológica (R6) con un RMSE de 3,8 y CV de 2,07%, respectivamente (Fig. 5).

Tabla 10. Coeficientes genéticos para el maíz con los valores ajustados y utilizados en el modelo CERES-Maize.

Coeficiente genético	Descripción	Valor obtenido durante el ajuste y usados para validar.
P1	Suma de temperaturas (expresada en grados día sobre una temperatura base de 8°C) desde la emergencia hasta el final de la etapa juvenil.	240.5
P2	Sensibilidad fotoperiódica, establecida en días de retraso del panojamiento por cada hora de aumento del fotoperíodo por encima de un valor umbral de 12,5 horas.	0.633
P5	Suma de temperaturas desde la aparición de los estigmas a madurez fisiológica	980
PHINT	Suma de temperaturas, entre apariciones sucesivas de ápices foliares (PHINT).	45.20
G2	Máximo número posible de granos por planta	610.0
G3	Tasa de llenado de granos durante la fase lineal, bajo condiciones óptimas (mg d-1).	6.50

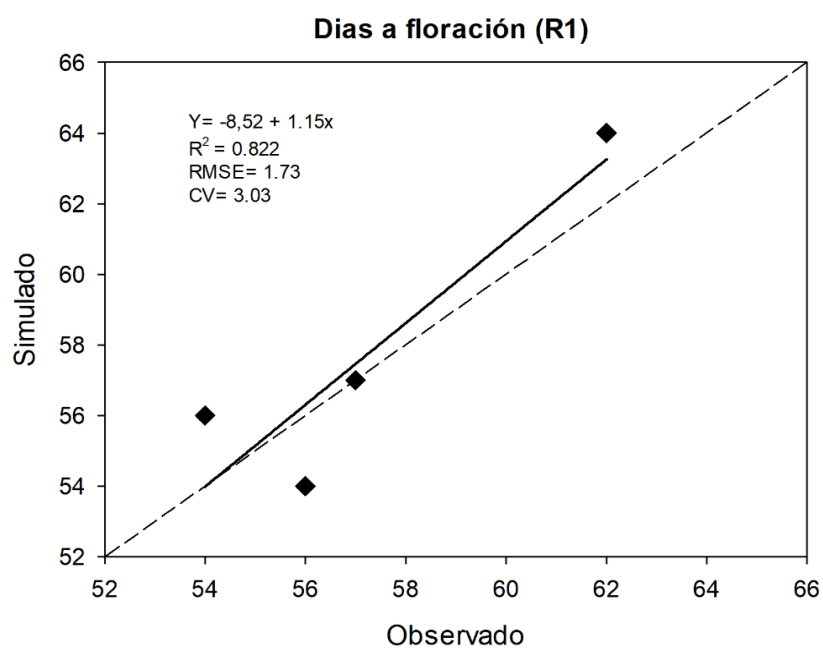


Figura 4. Relación entre los días a floración (R1) observados y simulados con el modelo CERES-Maize, correspondiente al ajuste del cultivo de maíz. La línea llena indica la recta de regresión; línea punteada indica la recta $x=y$.

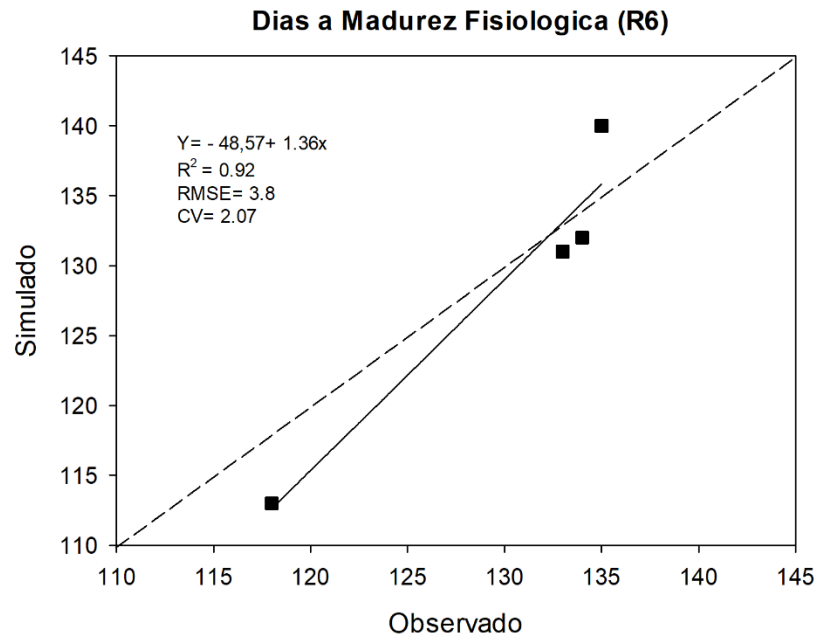


Figura 5. Relación entre los días de madurez fisiológica (R6) observados y simulados con el modelo CERES-Maize, correspondiente al ajuste del cultivo de maíz. La línea llena indica la recta de regresión; la línea punteada indica la recta $x=y$.

c) Rendimiento

En cuanto al rendimiento del cultivo para los años de estudio se pudo observar un $r^2=0,909$, un valor $RMSE=480.68$ kg/ha y un $CV=6.11\%$ respectivamente. Es importante destacar que en este trabajo no se analizó otros componentes del rendimiento como: número de granos/espiga, número de granos/m² y peso individual de los granos. Debido principalmente a la discontinuidad de datos en los años utilizados para ajustar al modelo(Fig. 6).

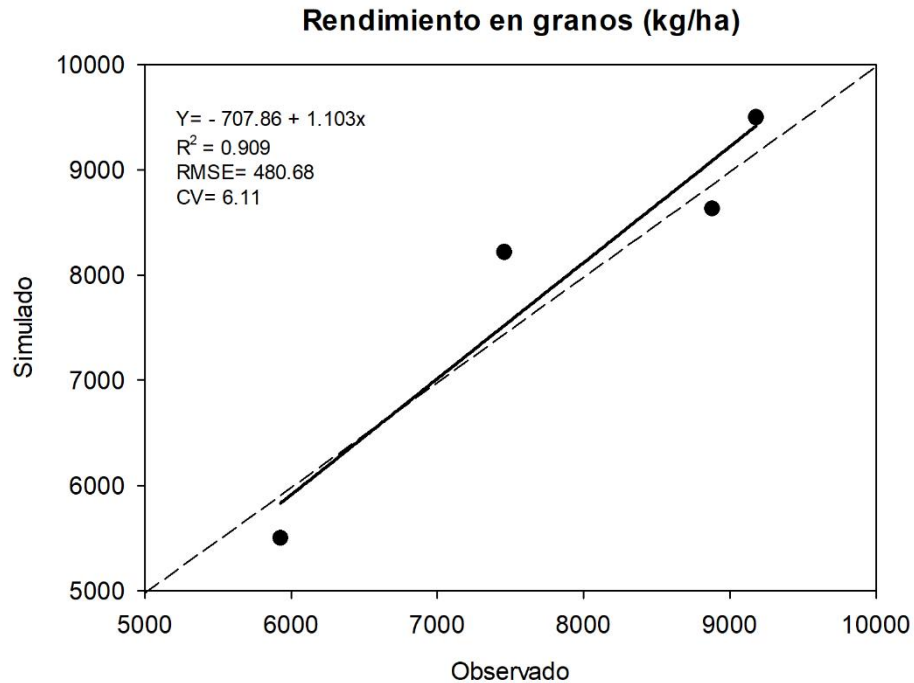


Figura 6. Relación entre el rendimiento (Kg/ha) observados y simulados con el modelo CERES-Maize, correspondiente al ajuste del cultivo de maíz. La línea llena indica la recta de regresión; la línea punteada indica la recta $x=y$.

7.2 Trigo

a) Fenología

Los coeficientes genotípicos que se obtuvieron durante el ajuste se pueden observar en la tabla 11. La diferencia promedio entre los días simulados y observados desde siembra hasta la floración, (escala Zadoks; Z6,5) osciló entre 0 y 2 días. Por lo tanto, la Fig.7 muestra la correspondencia entre el número de días observado y simulado hasta la floración (Z6,5), con un valor RMSE de 1,18 y un CV de 1,36%. De manera similar el número de días observado y simulado hasta la madurez fisiológica (Z9) con un RMSE de 1.5 y un CV de 1.32% (Fig.8).

Tabla 11. Coeficientes genéticos para el trigo con los valores utilizados en el archivo CUL del modelo CERES-Wheat.

Coeficiente	Descripción	Valor obtenido durante el ajuste y usados para validar.
P1D	Respuesta a fotoperíodo (porcentaje de reducción de la tasa /10 horas menos de fotoperíodo) %	84.70
P1V	Días requeridos para vernalización, bajo temperatura de vernalización óptima (d)	0.300
P5	Duración de la fase de llenado de granos, sin considerar fase lenta (°C9)	545.3
G1	Número de granos por unidad de peso de canopia en anthesis (granos/g)	20
G2	Tamaño de grano estándar bajo condiciones óptimas (g/grano)	38
G3	Peso seco normal (total, incluido el grano) de un tallo en condiciones óptimas (g)	1.0
PHINT	Suma de temperaturas, entre apariciones sucesivas de ápices foliares. °C d	100

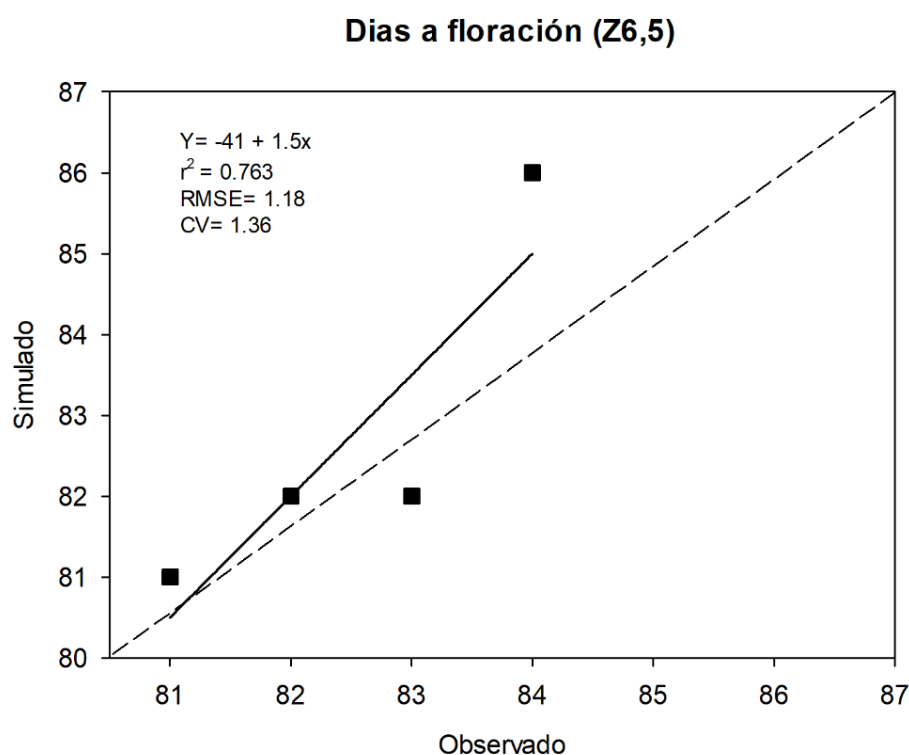


Figura 7. Relación entre los días a floración (Z6,5) observados y simulados con el modelo CERES-Wheat, correspondiente al ajuste del cultivo del cultivo de trigo. La línea llena indica la recta de regresión; línea punteada indica la recta $x=y$.

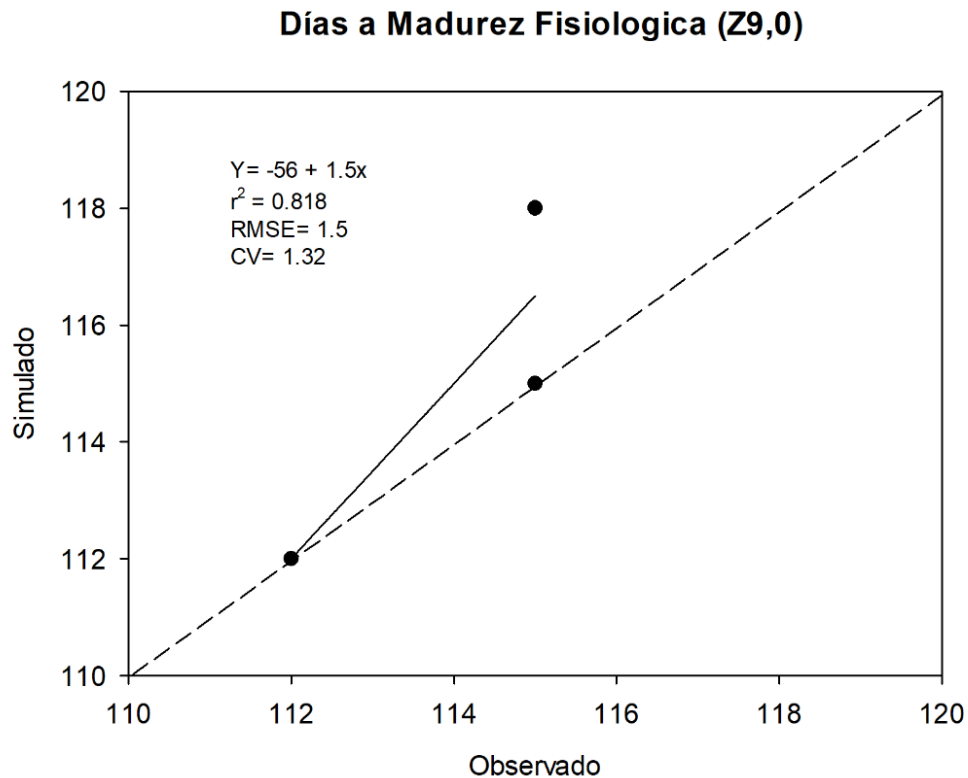


Figura 8. Relación entre los días de madurez Fisiológica (Z9) observados y simulados con el modelo CERES-Wheat, correspondiente al ajuste del cultivo del cultivo de trigo. La línea llena indica la recta de regresión; la línea punteada indica la recta $x=y$.

b) Rendimiento

En cuanto al rendimiento del cultivo para los años de estudio se pudo observar un $r^2=0.78$, un valor RMSE=104 kg/ha y un CV=5.04% respectivamente. Esto nos indica un buen ajuste por el modelo. Es importante destacar que en este trabajo no se analizó otros componentes del rendimiento como: número de granos/espiga, número de granos/m² y peso individual de los granos. Debido principalmente a la discontinuidad de datos en los años utilizados para ajustar al modelo.

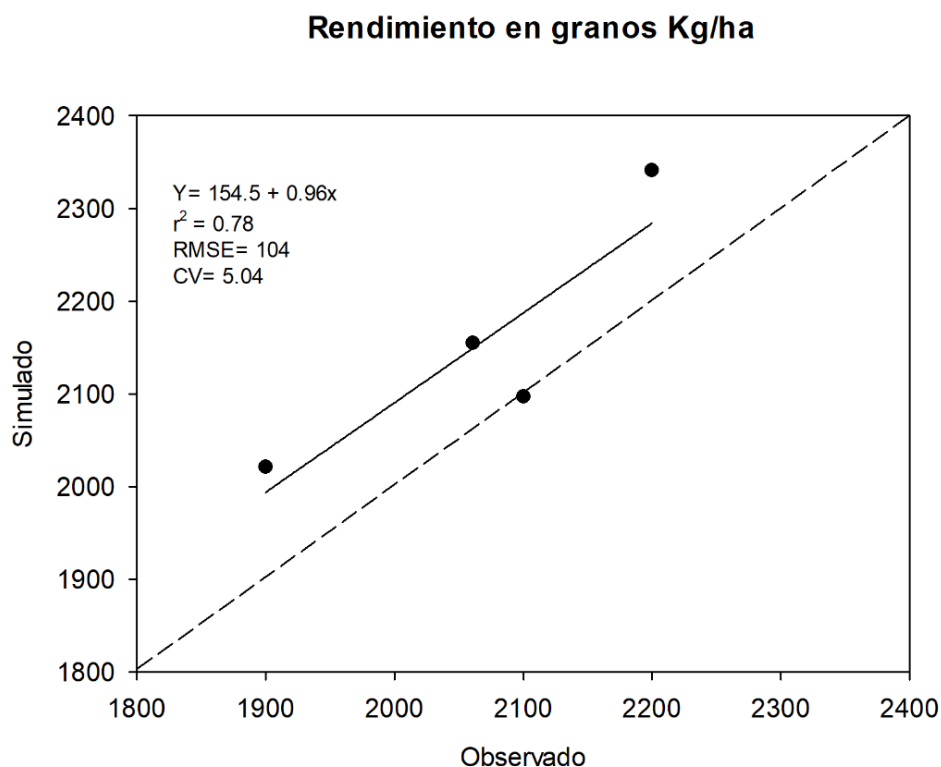


Figura 9. Relación entre el rendimiento (Kg/ha) observados y simulados con el modelo CERES-Wheat, correspondiente al ajuste del cultivo de trigo. La línea llena indica la recta de regresión; la línea punteada indica la recta $x=y$.

7.3 Soja

a) Fenología

Los valores obtenidos en este ajuste se aprecian en la tabla 12. No se pudo avanzar en un análisis estadístico debido a la información faltante, por eso en las siguientes Figuras (10,11,12 y 13) se pueden ver diferentes valores de los parámetros más importantes para el ajuste y su impacto en la fenología.

Tabla 12. Coeficientes genéticos para el cultivo de soja con los valores utilizados en el archivo CUL del modelo CROPGRO.

Coeficiente	Descripción	Valor obtenido durante el ajuste y usados para validar
CSDL	Fotoperiodo crítico debajo del cual el progreso del desarrollo reproductivo no tiene efecto del fotoperíodo	13.00
EM-FL	Tiempo entre emergencia y floración (R1) (d fototermale)	30
SD-PM	Tiempo entre primera semilla (R5) y madurez fisiológica (R7) (d fototermale)	35.60
WTPSD	Máximo peso de semilla (g)	0.15

Los demás parámetros genéticos que integran en el modelo CROPGRO no fueron modificados y se mantuvieron según sus valores iniciales por defecto (GM VI corto).

b) Análisis de sensibilidad

En cuanto al análisis de sensibilidad, para el parámetro EM-FL con un rango de 27 a 37 (10 interacciones) se observa una tendencia casi lineal por cada aumento en ese parámetro (Fig. 8). La misma tendencia se aprecia para los días de siembra hasta madurez fisiológica (Fig. 9). Es importante observar la variación del IAF en relación a la modificación del parámetro EM-FL (Fig. 11). El parámetro SD-PM también tiene un comportamiento similar a los anteriores.

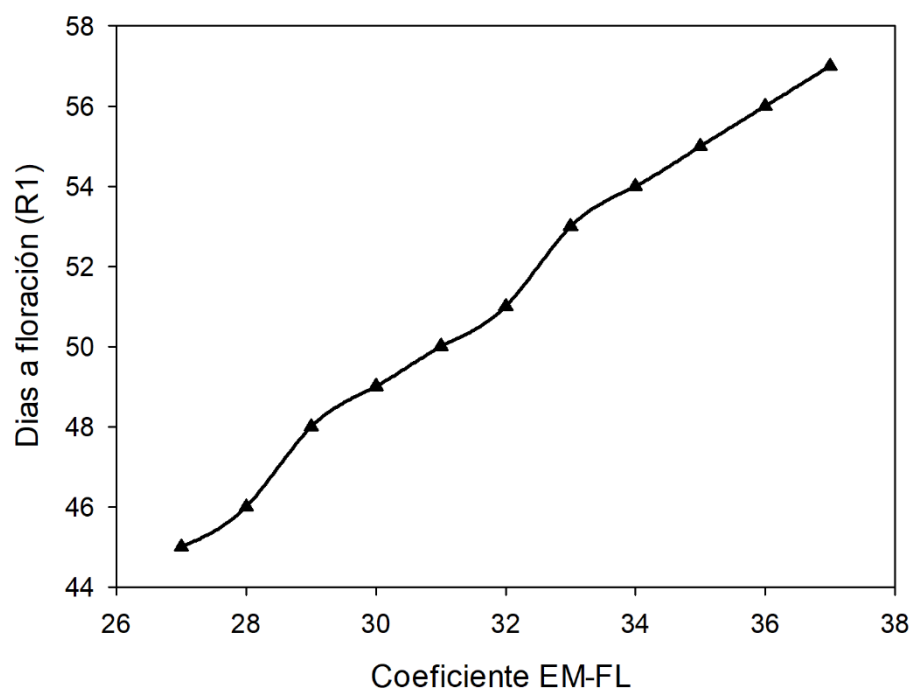


Figura 10. Sensibilidad del modelo al utilizar diferentes valores en el parámetro EM-FL y su variación en días a floración (R1)

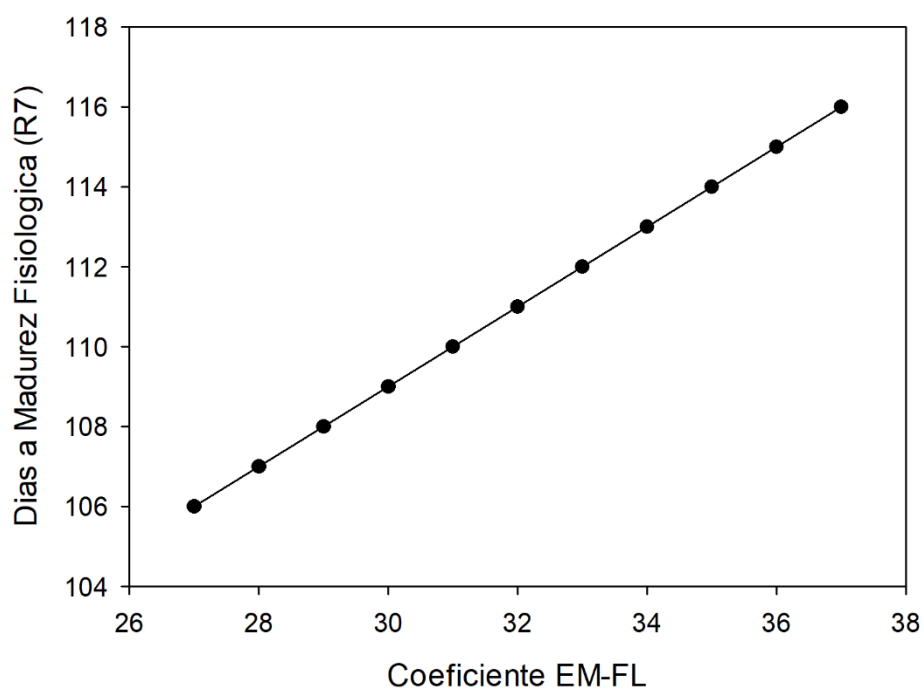


Figura 11. Sensibilidad del modelo al utilizar diferentes valores en el parámetro EM-FL y su variación en días a madurez fisiológica.

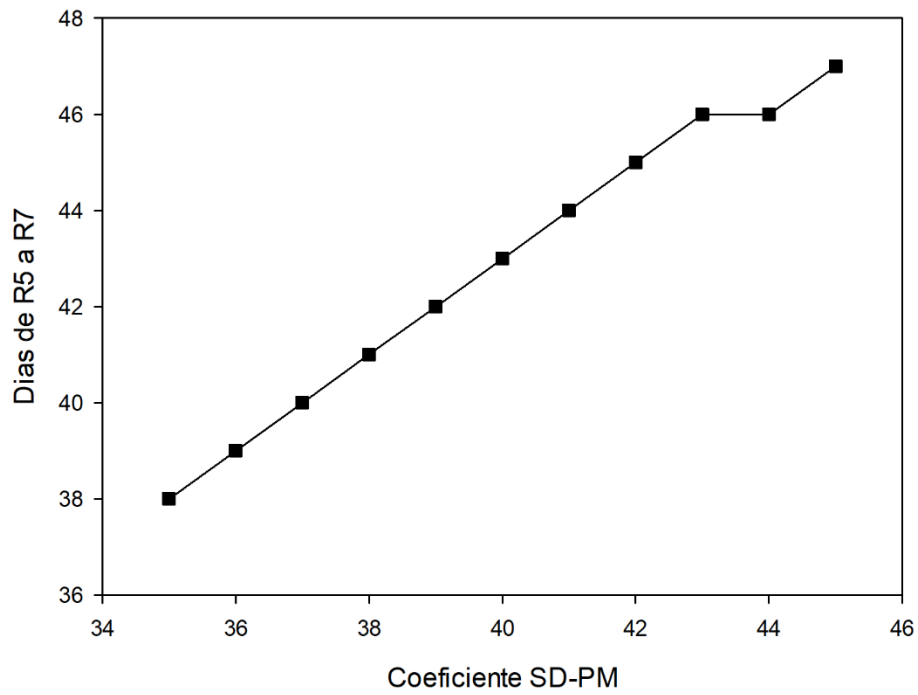


Figura 12. Sensibilidad del modelo al utilizar diferentes valores en el parámetro SD-PM y su variación en días de R5 a R7.

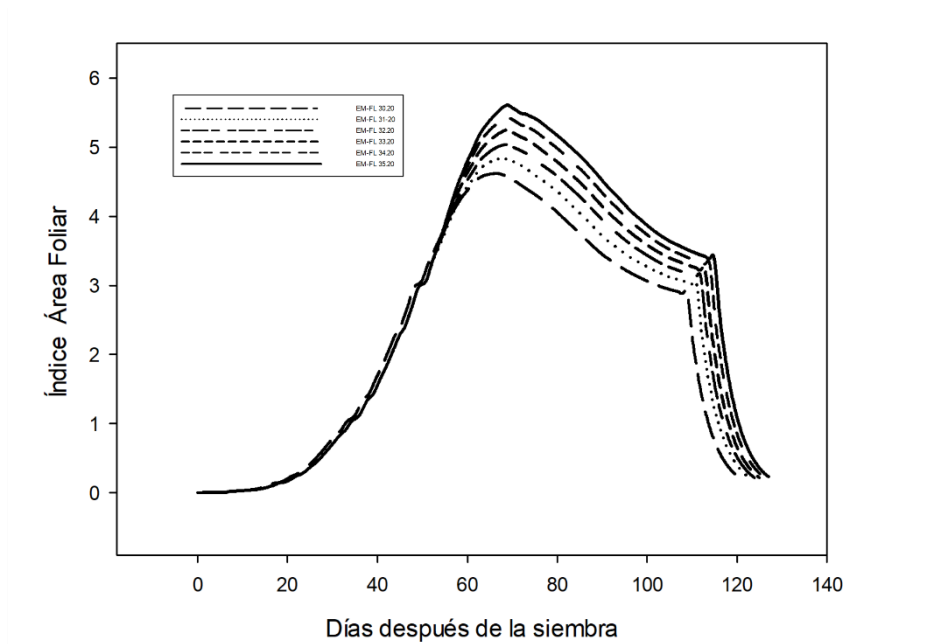


Figura 13. Sensibilidad del modelo al utilizar diferentes valores en el parámetro EM-FL y su variación en el índice de área foliar.

8. Validación

Para la validación se utilizaron datos de cinco (5) ensayos de macroparcels para el cultivo de maíz, tres (3) para el cultivo de trigo y dos (2) para la soja. Las condiciones de manejo fueron las que se reportaron en los diferentes ensayos. Se puede observar que el CV%, para los cultivos de trigo y maíz se ubicó dentro del 7%, tabla 13.

Tabla 13. Valores utilizados para la validación de los diferentes modelos (observados y simulados) con sus respectivos indicadores estadísticos. Valores de RMSE y CV% obtenidos mediante la herramienta GBluid v. 4.7.5 DSSAT.

Cultivo	Rendimiento Observado	Rendimiento Simulado	RMSE y CV%.
Maíz	9300	9081	RMSE= 549
	8500	9168	CV%= 7.17 %
	6900	7840	
	5001	5133	
	8600	8942	
Trigo	1900	2021	RMSE= 144
	2100	2097	CV%= 7,83%
	2061	2155	
Soja	2250	2199	RMSE= 840
	3900	2725	CV%= 28,48

Teniendo en cuenta todos los cultivos, se estableció la relación entre los rendimientos en grano observados y estimados utilizados para validación. La recta de regresión tuvo un CV de 10 % para los cultivos evaluados en la localidad de estudio (Fig. 14), un valor RMSE= 546 kg/ha y un r^2 de 0.97. El cultivo que mayor CV presentó fue el cultivo de soja 28.48%, seguido por el cultivo de trigo 7,83% y por último maíz 7,17%.

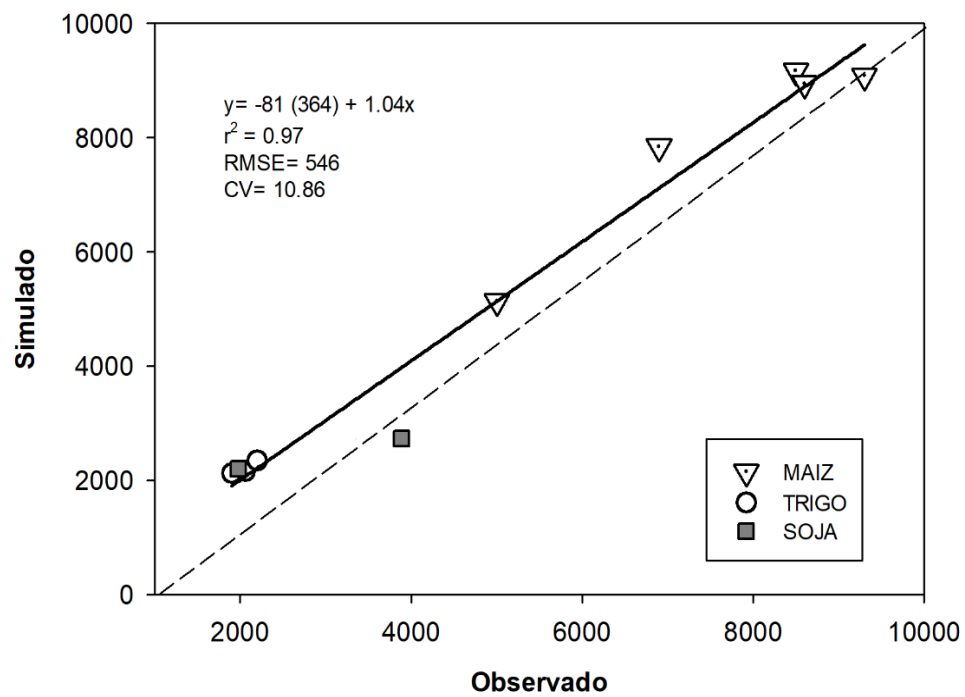


Figura 14. Relación entre el rendimiento en grano (base seca) observado y el estimado con los modelos del programa DSSAT 4.7, correspondiente a la validación de los cultivos de grano estudiados, para la localidad de Las Breñas (Chaco, Argentina). La línea llena indica la recta de regresión; la línea punteada indica la recta $x=y$.

9. Consideraciones finales

Debido a la complejidad de los sistemas de producción de los cultivos, los modelos mecanísticos se utilizan a menudo para comprender las interacciones genotipo x ambiente x manejo (GxExM) con el fin de optimizarlas para aumentar el rendimiento de grano. El primer paso para el correcto uso, es el ajuste y la validación de los mismos. La búsqueda de los datos fue un proceso complejo, la información de rendimiento es fácil de obtener, pero los fenológicos siempre fueron una limitante. Enfrentar situaciones donde se tenían datos de fenología, pero no de rendimiento o viceversa, fue un denominador común. Cuando se trabaja en condiciones subpotenciales, los datos de las observaciones que se obtienen para ajustar y validar los diferentes modelos deben ser de calidad, representativos y con pocos datos “outliers”. Los datos fuera de tipo (*i.e* años de baja calidad ambiental, ataque de plagas, etc.) se analizaron en profundidad y se establecieron varios criterios para la utilización de los mismos (*i.e* rendimientos por debajo del 50% promedio no se utilizarán). Con la metodología propuesta y con los criterios utilizados se lograron RMSE= 546 kg, y coeficientes de Variación (CV) entre el 7 y 8 %, para el caso del maíz y trigo, que fueron los cultivos de los cuales más datos de calidad se tenían. Para el caso de la soja el CV fue del 28%, el más alto de todos, y es lógico suponer que la poca información disponible no fue suficiente para lograr un ajuste aún mejor en base al rendimiento. Estos resultados son importantes porque se podrían simular diferentes escenarios de impacto, como mayor eficiencia en el uso de la radiación, fecha de siembra óptima, densidad de siembra, crecimiento de raíces para mejorar la captura de agua y nutrientes, etc.

Durante esta práctica pude apreciar que podemos analizar grandes volúmenes de datos e integrar los mismos con los conocimientos adquiridos durante la carrera de grado (*i.e* balance del agua, ciclo de nitrógeno, carbono, fenología, ecofisiología, etc) y visualizarlos en cuestión de segundos en un modelo, que de la manera convencional llevaría varios años de estudio medir todas estas variables.

Personalmente puedo concluir que los resultados obtenidos son producto de una interacción compleja entre la búsqueda de información, la revisión bibliográfica y sobre todo el intercambio de experiencias que pude realizar con profesionales de diferentes Universidades como el NanyangTechnologicalUniversity, Singapore y la Universidade Federal de Goiás, Brasil. Sin dudas que este tipo de intercambio a través de reuniones virtuales y las largas horas

de gabinete, aportaron a mi entendimiento en la utilización de los modelos, pero sobre todo en las relaciones profesionales que supe construir para cumplir con los objetivos propuestos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABBATE, P.E. 2009. Modelización de la sustentabilidad de la producción de granos en la ecoregión pampeana y algunas zonas extrapampeanas. [en línea] [consulta: 3 de septiembre 2013]
- ALAGARSWAMY, G., BOOTE, K. J., ALLEN JR, L. H., JONES, J. W. 2006. Evaluating the CROPGRO–soybean model ability to simulate photosynthesis response to carbon dioxide levels. *Agronomy Journal*, 98(1), 34-42.
- ALEXANDRATOS, N., BRUINSMA, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050. The 2012 revision ESA working paper N° 12-03. FAO. Roma.
- ANDRADE F. 2016. Desafíos de la agricultura argentina: satisfacer las demandas y reducir el impacto ambiental. 1ra. Edición. Ediciones INTA. Pág. ISBN 978-987-521-859-8.
- ANDRADE F. H., AGUIRREZÁBAL L.A.N., RIZZALLI R. H. 2002. Crecimiento y rendimiento comparado. En: Andrade F.H.; Sadras V.O. (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. E.E.A. Balcarce INTA – FCA, UNMdP. Balcarce, Argentina. pp. 57-96.
- BAIGORRI, H. E. J. 1994. Fotoperiodo, temperatura y radiación. Sus aspectos sobre el desarrollo y crecimiento del cultivo de soja Asgrow 3127 en Balcarce. Tesis Magister Scientiae Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 86 p.
- BOOTE, K. J., JONES, J. W., HOOGENBOOM, G., PICKERING, N. B. 1998. The CROPGRO model for grain legumes. In *Understanding options for agricultural production* (pp. 99-128). Springer, Dordrecht.
- BOOTE, K. J; M TOLLENAAR. 1994. Modeling genetic yield potential. p. 533–565. In K.J. Boote et al. (ed.) *Physiology and determination of crop yield*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- CÁCERES DÍAZ, R. O., QUINTANA G. J., NADAL, N., JIMÉNEZ, J. O. 2009. Fertilización nitrogenada para rendimiento objetivo de sorgo granífero en el suroeste de la provincia de Chaco, Argentina.
- GALLEGO, M. F. 2015. Cultivares de Maíz para la campaña 2015/2016. INTA E.E.A. Las Breñas. Ediciones EEA INTA Las Breñas, Centro Regional Chaco – Formosa.
- GRIMM, S. S., JONES, J. W., BOOTE, K. J., HESKETH, J. D. 1993. Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. *Crop Science*, 33(1), 137-144.

- HERRERA, A. G., 2009. Parámetros climáticos: Estación Meteorológica: Ediciones EEA INTA Las Breñas, Centro Regional Chaco – Formosa.
- HOOGENBOOM, G., JONES, J. W., BOOTE, K. J. 1992. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO: a review. *Transactions of the ASAE*, 35(6), 2043-2056.
- HOOGENBOOM, G., JONES, J. W., WILKENS, P. W., PORTER, C. H., BOOTE, K. J., HUNT, L. A., KOO, J. 2010a. Decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT) Version 4.5. Honolulu: University of Hawaii, 1.
- HOOGENBOOM, G., JONES, J.W., PORTER, C.H., WILKENS, P.W., BOOTE, K.J., HUNT, L.A., TSUJI, G.Y. 2010b. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.5. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA
- HUNT, L. A., PARARAJASINGHAM, S., JONES, J. W., HOOGENBOOM, G., IMAMURA, D. T., OGOSHI, R. M. 1993. GENCALC: Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. *Agronomy Journal*, 85(5), 1090-1094.
- JONES, C. A., KINIRY, J. R. 1986. CERES-Maize; a simulation model of maize growth and development (No. 04; SB91. M2, J6.).
- JONES, C. A., LUITEN, J. C. 1998. Simulation of biological processes. In Peart, R; Curry, R.B. (eds). *Agricultural systems modelling and simulation*. Marcel Dekker, Nueva York, US. p. 19-62.
- JONES, J. W., HE, J., BOOTE, K. J., WILKENS, P., PORTER, C. H., HU, Z. 2011. Estimating DSSAT cropping system cultivar-specific parameters using Bayesian techniques. *Methods of introducing system models into agricultural research*, 2, 365-393
- JONES, J. W., HOOGENBOOM, G., PORTER, C. H., BOOTE, K. J., BATCHELOR, W. D., HUNT, L. A., RITCHIE, J. T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 235-265
- LAULHE I., 2015. Modelación de la sustentabilidad productiva y económica de sistemas agrícolas, mixtos y ganaderos en el sur de Buenos Aires. Tesis Magíster Scientiae en producción animal. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata. p. 25-45.
- OVANDO G., DARDANELLI J., 2002. Modelos de simulación de cultivos. Facultad de ciencias agropecuarias, Universidad de Córdoba. Manual vol. 1, pág. 128.
- RAMAWAT, N., SHARMA, H. L., KUMAR, R. 2012. Simulation, validation and application of CERES-Maize model for yield maximization of maize in North Western Himalayas. *Applied Ecology and Environmental Research*, 10(3), 303-318.

- RATTALINO EDREIRA, J. I., OTEGUI, M. E. 2013. Estrés por golpe de calor en maíz. diferencias en las respuestas ecofisiológicas entre genotipos templados y tropicales. P. imprenta: 2013. 121 p., grafs., tpls.
- RITCHIE, J. T., GODWIN, D. C., OTTER-NACKE, S. 1985. CERES-Wheat. A simulation model of wheat growth and development.
- RITCHIE, J. T., SINGH, U., GODWIN, D. C., BOWEN, W. T. 1998. Cereal growth, development and yield. In *Understanding options for agricultural production* (pp. 79-98). Springer, Dordrecht.
- SANDEZ A., ROMANI M. R. 2013. Variations in the plant structure of corn in tropical and temperate hybrids and their effect on the interception of radiation through the sowing window for the irrigation area of the Rio Dulce, Santiago del Estero.
- SINGH, U., RITCHIE, J. T., THORNTON, P. K. 1991. CERES-CEREAL model for wheat, maize, sorghum, barley, and pearl millet. In *Agronomyabstracts* (Vol. 78).
- STACKHOUSE, P. W., JR., ZHANG, T., WESTBERG, D., BARNETT, A. J., BRISTOW, T., MACPHERSON, B., HOELL, J. M. 2018. POWER release 8 (with GIS applications) methodology (data parameters, sources, & validation) documentation date may 1, 2018 (all previous versions are obsolete) (data version 8.0.1). NASA. Retrieved from https://power.larc.nasa.gov/documents/POWER_Data_v8_methodology.pdf
- THORNTON, P. K., HOOGENBOOM, G., WILKENS, P.W., BOWEN, W. T. 1995. A computer program to analyze multiple-season crop model outputs. *Agronomy Journal*, 87(1):131–136.
- TRAVASSO M. I., SUERO E. E. 1994. Estimación de la capacidad de almacenaje de agua en suelos del sudeste bonaerense. Ediciones INTA, EEA Balcarce, Argentina. Boletín Técnico N° 125, 9 p.
- URYASEV, O., GIJSMAN, A. J., JONES, J. W., HOOGENBOOM, G. 2004. Soil Data Editing Program (SBUILD). In: Hoogenboom, G.; Jones, J.W.; Porter, C.H.; Wilkens, P.W.; Boote, K.J.; Batchelor, W.D.; Hunt, L.A.; Tsuji G.Y. (eds), *Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. vol 2*. University of Hawaii, Honolulu, USA. pp. 76-91.
- WHITE, J. W., BOOTE, K. J., HOOGENBOOM, G., JONES, P. G. 2007. Regression-based evaluation of ecophysiological models. *Agron. J.* 99, 419-427.
- WILKERSON, G. G., JONES, J. W., BOOTE, K. J., INGRAM, K. T., MISHOE, J. W. 1983. Modeling soybean growth for crop management. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 26, 63–73.

ANEXO.

- 1) Coeficientes genéticos (presentes en el archivo .CUL) de los cultivares utilizados en Las Breñas (Chaco Argentina) para estimar rendimiento en grano (en trigo, soja y maíz con el programa DSSAT 4.7.

MAIZ			P1	P2	P5	G2	G3	PHINT	
IB1001 DKALB_1401	1,1	IB0001	240.5	0.6336	980	610	6.5	45.2	
TRIGO	EXP#	ECO#	P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT
IB1500 TRIGO_CC	1,1	CAWH01	0.3	84.7	545.3	20	38	1	100

SOJA

@VAR#	INLB
VAR-NAME	DON M 60i62
EXPNO	-99
ECO#	SB0601
CSDL	13
PPSEN	0.339
EM-FL	30.2
FL-SH	9
FL-SD	16
SD-PM	35.6
FL-LF	18
LFMAX	0.85
SLAVR	375
SIZLF	180
XFRT	1
WTPSD	0.15
SFDUR	23
SDPDV	2.05
PODUR	10
THRSH	78
SDPRO	0.4
SDLIP	0.2

2) A) Parámetros del archivo ECO para el cultivo de Maíz.

```

ECO# ECONAME..... TBASE TOPT ROPT P20 DJTI GDDE DSGFT RUE KCAN TSEN CDAY
!      1      2      3      4      5      6      7      8      9     10     11
IB0001 GENERIC MIDWEST1 8.0 34.0 34.0 12.5 4.0 6.0 170. 4.2 0.65

```

B) Parámetros del archivo SPE para el cultivo de Maíz.

```

*MAIZE SPECIES COEFFICIENTS: MZCER047 MODEL

*TEMPERATURE EFFECTS
! TBASE TOP1 TOP2 THAX
! PRFTC 6.7 22.5 50.0 60.0 !Effect of temperature on photosynthesis
! RGFIL 5.5 16.0 29.0 37.0 !Effect of temperature on relative grain filling rate (tolerant)
! RGFTL 5.5 16.0 27.0 35.0 !Effect of temperature on relative grain filling rate (suscept)

*PHOTOSYNTHESIS PARAMETERS
PARSR 0.50 !Conversion of solar radiation to PAR
CO2X 0 220 280 330 400 490 570 750 990 9999
CO2Y 0.00 0.85 0.95 1.00 1.02 1.04 1.05 1.06 1.07 1.08

*STRESS RESPONSE
FSLFW 0.050 !Fraction of leaf area senesced under 100% water stress, 1/day
FSLFN 0.050 !Fraction of leaf area senesced under 100% nitrogen stress, 1/day
FSLFP 0.050 !Fraction of leaf area senesced under 100% phosphorus stress, 1/day

*SEED GROWTH PARAMETERS
SDSZ .2750 !Maximum potential seed size, mg/sd
RSGR 0.1 !Relative seed growth rate below which plant may mature early
RSGRT 5.0 !Number of consecutive days relative seed growth rate is below RSGR that triggers early maturity
CARBOT 100 !Number of consecutive days CARBO is less than .001 before plant matures due to temperature, water or nitrogen stress
DSGT 21.0 !Maximum days from sowing to germination before seed dies.
DGET 150.0 !Growing degree days between germination and emergence after which the seed dies due to drought
SWGC 0.02 !Minimum available soil water required for seed germination, cm3/cm3

*EMERGENCE INITIAL CONDITIONS
STMWTE 0.20 !Stem weight at emergence, g/plant
RTWTE 0.20 !Root weight at emergence, g/plant
LFWTE 0.20 !Leaf weight at emergence, g/plant
SEEDRVE 0.20 !Carbohydrate reserve in seed at emergence, g/plant
LEAFNOE 1.0 !Leaf number at emergence, #/plant
PLAE 1.0 !Leaf area at emergence, cm2/plant

*NITROGEN PARAMETERS
TMNC 0.00450 !Plant top minimum N concentration g N/g dry matter (orig)
TANCE 0.0440 !Nitrogen content in above ground biomass at emergence, g N/g dry matter
RCNP 0.01060 !Root critical nitrogen concentration, g N/g root dry weight
RANCE 0.0220 !Root N content at emergence g N/g root
CTCNP1 1.52 !Maximum value for critical tissue N concentration (in developing seed embryo)
CTCNP2 0.160 !Coefficient for change in conc. with growth stage

*ROOT PARAMETERS
FORM 0.05 !Minimum volume required for supplying oxygen to roots for optimum growth (1-1.0)
RWMX 0.03 !Not used in ceres, but passed through AltPlant for use elsewhere
RLWR 0.98 !Root length to weight ratio (cm/g * 1E-4)
RMUEP1 1.50

```

C) Archivo A para el cultivo de Maíz.

ARCHIVO A								
	Red. Kg/Ha (Base seca)	MS total MF Kg/ha (Base seca)	Siembra DJ	Emergencia	Floracion	MF	Granos/m2	LAIX
TRNO	HWAM	CWAM	PDAT	EDAT	ADAT	MDAT	H#AM	
1	9300	17264	10015	10019	10069	10149	3600	4
2	8500	19000	11012	11017	11069	11145	4100	4
3	6900	14500	14016	14021	14078	14151	3908	4
4	5001	11000	9020	9024	9076	9138	2400	4

5	8600							
---	------	--	--	--	--	--	--	--

3) A) Parámetros del archivo ECO para el cultivo de Trigo.

```
*ECOTYPE:WHCER047
!
-----PHENOLOGY(PHASE_DURATIONS)----- P.MOD --MAX RUE-- LEAF PRODN -----LEAF_SIZES----- LEAF_SENESC TILLER_PRODUCTION ---TILLER_DEATH--- ROOTS -----CANOPY----- ---COMPOSITION--- KILL
@ECO# P1 P2FR1 P2 P3 P4FR1 P4FR2 P4 VEFF PARUE PARU2 PHL2 PHF3 LA15 LAFV LAFR SLAS LSPHS LSPHE TILLES TIPHE TIFAC TOPHS TOPHE TDFAC RDGS HTSTD AMNS KCAN RSRS GNRS GNMN TKFH
! OC.d fr OC.d OC.d fr fr OC.d fr g/MJ g/MJ Lf# Fac cm2 fr/lf fr/lf cm2/g GrStg GrStg Lf# GrStg Fac GrStg GrStg. Fac cm/d cm Score Exp % % % OC
999991 100 0 100 100 0.15 0.05 100 0.0 1.0 1.0 4.0 1.0 1.0 0.01 0.10 100 4.0 5.5 2.5 2.0 0.5 1.5 2.0 0.0 1.0 60 0.0 .65 10 1.0 0.0 -10
999992 500 .60 500 500 0.35 0.25 500 1.0 6.0 6.0 200 1.6 20.0 0.00 3.00 600 5.7 6.5 7.0 4.0 2.0 4.0 6.0 20.0 5.0 150 10.0 .95 60 3.5 6.0 -25
DEFAULT 200 .25 200 200 0.25 0.10 200 0.6 2.7 2.7 15 1.3 5.0 0.10 0.50 400 5.5 6.3 3.5 2.5 1.0 2.5 6.0 4.0 3.0 100 0.0 .85 30 3.0 0.0 -10
CAWH01 352 .25 250 172 .25 .10 200 0.5 2.7 2.7 13 1.0 3.0 0.05 0.30 300 4.2 6.0 3.0 2.5 1.0 2.7 6.0 4.0 3.0 100 0.0 .85 30 3.0 2.0 -10
USWH01 400 .25 285 190 .25 .10 200 1.0 2.3 2.3 13 1.0 2.0 0.15 0.01 400 5.1 6.5 4.5 2.0 0.8 2.2 6.0 4.0 3.0 100 5.0 .85 30 2.2 1.9 -20
UKWH01 421 .25 300 200 .25 .10 200 0.5 2.7 2.7 13 1.0 2.0 0.10 0.30 485 5.7 6.3 4.5 2.0 0.5 2.2 6.0 20.0 3.0 100 0.0 .85 60 2.0 1.0 -15
AZWH18 460 .25 328 219 .25 .10 200 0.6 2.7 2.7 13 1.0 2.0 0.15 0.50 400 5.3 6.5 4.5 2.0 0.8 2.2 6.0 4.0 3.0 100 5.0 .85 30 2.2 1.9 -20
C10001 480 .25 280 200 .25 .10 250 0.6 2.0 2.5 13 1.0 10.0 0.30 0.40 350 5.4 6.1 2.3 1.95 2.0 2.0 6.0 4.0 3.0 100 5.0 .85 30 2.2 1.9 -20
I10001 460 .25 328 219 .25 .10 200 0.6 2.7 2.7 13 1.0 2.0 0.15 0.50 400 5.3 6.5 4.5 2.0 0.8 2.2 6.0 4.0 3.0 100 5.0 .85 30 2.2 1.9 -20
```

B) Parámetros del archivo SPE para el cultivo de Trigo.

```

*SPECIES:WHCER047
! Phase durations
@PGERM PEMRG P0 P6 ! Germination,emrgence/cm,juvenile,post-maturity
! HTu Tu/cm oC.d oC.d
! 10 8.0 0 200
! Development rate responses to environment
@PPFPE PPTHr PPEND ! Photoperiod factor pre-emerge,threshold,end sensitivity
! Fac h GrStg
! 1.0 20.0 2.0
! Roots
@RLIG% RLWR RSEN RRESP RLDGR !Lignin%,length/wt,senesence,resp.
! % cm/g %/d fr cm/cm
! 10.0 0.98 .10 0.40 500
! Leaves
@LLIG% LAXS LSHFR LSHAW PHL1 PHF1 SLAMN SLACF
! % cm2 fr cm2/g Lf# Fac fr fr/lf
! 10.0 900 0.33 70.0 2.0 0.5 0.5 0.02
@LLIFE LWLOS LRPHS
! oC.d fr GrStg
! 4.0 0.50 3.0
@LASF
! fr
! 0.00
! 0.10
! 0.10
! 0.10
! 0.10
! 1.00
@CHTX CLAX%
! % %
! 0 0
! 50 50
! 100 100
@TPAR TSRAD
! fr fr
! 0.07 0.25
! Tillers
@TGR02
! fr
! 0.80
! Reserves
@RSXX RSUSE ! Max concentration,fraction utilizeable/day
! % fr
! 80.0 0.1
! Stems
@SLIG% SAWS SGPHE SSPHS SSEN%
! % cm2/g GrStg GrStg %
! 10.0 25.0 4.45 5.8 .53
! Chaff
@CHFR CHSTG
! fr GrStg
! 0.65 3.8
! Grain
@GLIG%
! %
! 10.0
! Seed
@SDWT SDAFR
! g fr
! .0284 0.50
! Photosynthesis
@CO2RF CO2F
! vpm Rel
! 0 0.00
! 220 0.71
! 330 1.00
! 440 1.08

```

C) Archivo A para el cultivo de trigo.

ARCHIVO A							
@TRNO	HWAM	CWAM	PDAT	EDAT	ADAT	MDAT	H#AM
1	1900	3800	16168	16181	16251	16283	4573
2	2100	4200	10175	10178	10259	10290	-99
3	2061	4122	11180	11192	11262	11292	5881
4	2200	4200	12177	12184	12258	12289	6579

4) Archivo SPE para el cultivo de soja.

```

*SOYBEAN SPECIES COEFFICIENTS: CRGR0847 MODEL

[*]PHOTOSYNTHESIS PARAMETERS
40.00 61.00 0.67 0.10 PARMAX,PHTMAX,KCAN, KC_SLOPE
! 40.00 61.00 0.68 0.10 PARMAX,PHTMAX,KCAN, KC_SLOPE
[Note: Kcan can be overridden by value in Ecotype file, if present]
[Kc_slope is the slope of Kcan with ratio of Rowsp:PlantSp (see DEMAND subroutine).]
[Kc_slope is optional, default value is 0.10.
79.0 2.08 .0106 CCMP,CCMAX,CCEFF; CO2 EFFECT ON PGCAN
! 80.0 2.09 .0105 CCMP,CCMAX,CCEFF; CO2 EFFECT ON PGCAN
1.90 5.50 20.0 20.0 QDR FNPGRN(4),TYPPGRN-LEAF N EFFECT ON PG
6.00 22.0 34.0 45.0 LIN FNPGR(4),TYPPGR-TMP EFFECT-CANOPY PG
! 3.00 22.0 34.0 45.0 LIN FNPGR(4),TYPPGR-TMP EFFECT-CANOPY PG
0.0 8.0 40.0 44.0 48.0 55.0 XLMAXT (6 VALUES)
0.0 0.0 1.0 0.8 0.0 0.0 YLMAXT (6 VALUES)
0.00 19.00 50.0 60.0 QDR FNPGL(4),TYPPGL-TMIN EFFECT-LEAF PG
.0541 0.20 0.80 2.0 PGEFF SCV KDIF, LFANGB
! .0035 .0004 .3000 4.90 1.030 SLWREF,SLWSLO,NSLOPE,LNREF,PGREF
.0036 .0004 .3000 4.90 1.030 SLWREF,SLWSLO,NSLOPE,LNREF,PGREF

0.0 .001 .002 .003 .0035 .004 .005 .006 .008 .010 XPGSLW(1-10)
.162 .679 .867 .966 1.000 1.027 1.069 1.100 1.141 1.167 YPGSLW(1-10)

[*]RESPIRATION PARAMETERS
3.5E-04 .0040 RES30C,R30C2
2.556 2.556 .360 2.830 RNO3C,RNH4C,RPRO,RFIXN
1.242 3.106 2.174 .929 0.05 1.13 RCH20,RLIP,RLIG,ROA,RMIN,POH20

[*]PLANT COMPOSITION VALUES
! .356 .285 .112 .165 .110 .035 PROLF1,PROLFG,PROLFF,PROST1,PROSTG,PROSTF
.356 .285 .112 .150 .100 .035 PROLF1,PROLFG,PROLFF,PROST1,PROSTG,PROSTF
.092 .064 .056 .250 .196 .050 PRORT1,PRORTG,PRORTF,PROSH1,PROSHG,PROSHF
.400 .400 .300 .030 .080 .800 SOPROS,SOPROG,PRONOD,PRONIN,PRONAX,THETA
! .405 .649 .711 .380 .315 .480 PCARLF,PCARST,PCARRT,PCARSH,PCARSD,PCARNO
.405 .664 .711 .380 .315 .480 PCARLF,PCARST,PCARRT,PCARSH,PCARSD,PCARNO
.025 .020 .020 .020 .050 PLIPLF,PLIPST,PLIPRT,PLIPSH,PLIPNO
.070 .070 .070 .280 .020 .070 PLIGLF,PLIGST,PLIGRT,PLIGSH,PLIGSD,PLIGNO
.050 .050 .050 .040 .040 .050 POALF,POAST,POART,POASH,POASD,POANO
.094 .046 .057 .030 .025 .050 PMINLF,PMINST,PMINRT,PMINSH,PMINSD,PMINNO

[*]SEED COMPOSITION VALUES
7.168 23.65 0.908 0.180 LIPTB,LIPOPT,SLOSUM*100,CARMIN

[*]CARBON AND NITROGEN MINING PARAMETERS
0.024 0.75 .260 .090 0.35 0.15 CNOBMX,CADSTF,CADPRI,NNOBMX,NVSMOB,NRCVR
! 0.025 0.75 .260 .090 0.35 0.15 CNOBMX,CADSTF,CADPRI,NNOBMX,NVSMOB,NRCVR
SD XPOOF
0.04 0.08 0.04 0.08 ALPHL,ALPHS,ALPHR,ALPHSH

[*]NITROGEN FIXATION PARAMETERS
.045 .170 .014 0.0 0.07 0.05 SNACTM,NODRGM,DWNOOI,TTFIX,NOTHMX,CNOCOR
7.00 22.0 35.0 44.0 LIN FNNGT(4),TYPNGT-TMP EFF ON NOD GROWTH
5.00 20.0 35.0 44.0 LIN FNFXT(4),TYPFXT-TMP EFF ON N FIX
0.00 0.85 1.00 10.0 LIN FNFXD(4),TYPFXD-REL SW-DRY EFF ON N FIX
-.02 .001 1.00 2.00 LIN FNFWM(4),TYPFWM-REL SW-WET EFF ON N FIX
0.00 0.10 1.00 0.00 INL FNFXA(4),TYPFXA-AGE EFF ON N FIX

[*]VEGETATIVE PARTITIONING PARAMETERS
0.0 1.5 3.3 5.0 7.8 10.5 30.0 40.0 XLEAF VALUES
0.41 0.42 0.42 0.41 0.36 0.32 0.31 0.31 YLEAF VALUES
0.09 0.13 0.21 0.29 0.37 0.49 0.49 0.49 YSTEM VALUES
0.55 0.58 0.55 0.24 1.00 0.05 WTFSD,PORPT,FRSTM,FRLLF,ATOP,FRONOD
0.70 FRLFMX

[*]LEAF GROWTH PARAMETERS
! 280. 350. 171.4 5.0 0.0 FINREF,SLAREF,SIZREF,VSSINK,EVMODC
180. 350. 171.4 5.0 0.0 FINREF,SLAREF,SIZREF,VSSINK,EVMODC
950. 250.0 -.048 1.50 SLAMAX,SLAMIN,SLAPAR,TURSLA

0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 XVGRON(1-6), VSTAGE VALUES
0.0 20.0 55.0 110.0 200.0 320.0 YVREF(1-6), LEAF AREA VALUES,CN2
-50.0 00.0 12.0 22.0 60.0 XSLATM(1-5),TEMP VALUES
0.25 0.25 0.25 1.00 1.0 YSLATM(1-5),EFFECT ON SLA

[*]LEAF SENESCENCE FACTORS
0.80 0.20 0.06 -2.22 -5.00 SENRT1,SENRT2,SENDAY,FREEZ1,FREEZ2
! 0.80 0.20 0.06 -2.22 -5.00 SENRT1,SENRT2,SENDAY,FREEZ1,FREEZ2

```

B) Archivo ECO para el cultivo de soja.

```
!          slowing normal development toward flowering (oC)
! SLOBI    Slope of relationship reducing progress toward flowering if
!          TMIN for the day is less than OPTBI
!
@ECO#  ECONAME..... MG TM THVAR PL-EM EM-V1 V1-JU JU-R0 PM06 PM09 LNGSH R7-R8 FL-VS TRIFL RWDTH RHGHT R1PPO OPTBI SLOBI
!          1      2      3      4      5      6      7      8      9     10     11     12     13     14     15     16
SB0601 MATURITY GROUP 6  06 01   0.0   3.6   6.0   0.0  05.0   0.0  0.35  10.0  12.0 20.00  0.60   1.0   0.9   .459  20.0   .035
```