



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

TITULO:

INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES SOBRE ALGUNOS
CULTIVOS ANUALES Y PERENNES

MODALIDAD: Tesina

ALUMNO: Pablo Nahuel DILEO

ASESOR: Ing. Agr. (Dra.) Carolina FERNÁNDEZ LÓPEZ

2016

RESUMEN

La provincia de Corrientes posee un clima subtropical, muy cálido en verano pero con heladas en invierno. Tiene características de clima húmedo, con frecuentes excesos hídricos en otoño y primavera; moderados y eventuales déficit en invierno. Más del 61% de sus suelos presentan problemas de drenaje/inundación y solo aquellos con limitación media por exceso de humedad (encharcables), pueden ser utilizados con agricultura. Los suelos aptos para agricultura, poseen limitaciones por erosión hídrica/eólica (16,1%) y por baja retención de humedad (5,4%), de mediana intensidad. La limitante por riesgo de erosión, es la más frecuente; la combinación con limitaciones del suelo, por baja retención de humedad y baja fertilidad en texturas arenosas, son dominantes en los suelos de la Clase III. Para lograr una producción rentable en función de cultivos alternativos se debería lograr un estudio prospectivo adecuado a las condiciones edafoclimáticas de la zona. Los sistemas vivos son altamente complejos; muchos componentes interactúan simultáneamente y sus interacciones son altamente no lineales o de naturaleza caótica. La simulación basada en modelos cuantitativos de procesos biológicos y sus interacciones pueden esclarecer considerablemente el funcionamiento de sistemas vivos, y la forma de manejar esos sistemas para alcanzar metas específicas. Durante las últimas décadas, la simulación con computadoras ha probado ser una herramienta poderosa en las ciencias biológicas básicas y aplicadas. En el campo de los modelos de simulación agronómica, esta combinación de ecuaciones matemáticas representa conceptualmente un sistema de producción de cultivos simplificado. El objetivo general de este trabajo fue comparar las necesidades de algunos cultivos (tradicionales versus alternativos) con la oferta ambiental de las localidades de Monte Caseros y Empedrado. Para ello se recurrió a la simulación del crecimiento del cultivo tomándose como herramienta el sistema DSSAT (Decision Support System of Agrotechnology Transfer) donde se cargaron los datos de suelo de estudios realizados por el equipo de recursos naturales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de las localidades de Empedrado y Monte Caseros, más precisamente las Serie CAROLINA: *Paleudoles típicos, franco fina, mixta* y Serie ESCUELA 490 (Tabla 2). *Argiudoles vérticos, franco fina*. Los datos climáticos se tomaron de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Corrientes ubicada a 27° 40' 08" latitud Sur, 58° 45' 44" longitud Oeste y a 63 msnm en la localidad y la estación meteorológica de la Red de Centrales Meteorológicas de la localidad de Monte Caseros provincia de Corrientes, ubicada a 30°14'45,2" latitud Sur, 57°40'58,8" longitud Oeste sobre RP 25, Argentina. En los casos que no se pudo realizar la simulación con el DSSAT se realizaron estimaciones empíricas según datos de cultivo y los obtenidos *in situ* a través de los programas Excel e INFOSTAT 2014. Se obtuvo así que para cultivos anuales (Empedrado): tanto la simulación de producción del cultivo de maíz como la de sorgo, muestran valores aceptables de rendimiento. La producción de biomasa de sorgo presenta valores superiores a maíz, 6722 kg/ha en promedio para los tres años estudiados para el primero y 5382 kg/ha para el segundo. En cambio, en los aspectos de rendimientos en granos, el cultivo de maíz arrojó

resultados superiores a los de sorgo (2084 kg/ha promedio para los tres años estudiados para el primero, y 1658 kg/ha para el segundo), esto se debe a que el maíz presenta un índice de cosecha mayor al de sorgo, en el primero presentó valores cercanos a 0,40 y para el segundo valores cercanos a 0,25. Los rendimientos arrojados están por debajo de lo que el potencial de los cultivos puede alcanzar, esto se debe a que dentro del sistema productivo existen limitantes que merman la producción. Una de las limitantes que se encontró en el agroecosistema de Empedrado es la baja fertilidad de los suelos, y no tanto por las condiciones meteorológicas del sitio; esto se demuestra con la simulación en dos escenarios, uno en la cual no se agrega ningún insumo al sistema, y el otro en el cual se suministra fertilizante nitrogenado. En este último caso, los resultados obtenidos de la simulación fueron muy superiores; 8156 kg/ha promedio para los tres años estudiados para maíz y 5068 kg/ha para sorgo, comparándolo con los resultados expuestos en el párrafo anterior. En relación a cultivos perennes (Monte Caseros): las condiciones ambientales demuestran ser más favorables para los cultivos citrícolas que para el cultivo de nuez pecán. En lo que concierne a cítricos, las temperaturas medias del sitio se encuentran dentro de los umbrales máximos y mínimos requeridos, así como no debería presentar anomalías por bajas temperaturas, ya que en los meses más fríos (en los 3 años evaluados) no fueron menores a los considerados críticos para la supervivencia de la especie. Las precipitaciones muestran una distribución marcada en la cual se observa excesos en los meses de primavera, verano y otoño; y leves déficits hídricos en los meses de invierno, lo que hace que las condiciones sean propicias para una intensa floración. Una de las limitantes que se encontró es la falta de amplitud térmica, probablemente esta situación hará que la calidad de los frutos se vea disminuida. El cultivo de pecán, podría llevarse a cabo en aquellos de menor exigencia en horas frío (200 horas frío), en los tres años evaluados solo en dos de ellos cubrieron con esta exigencia y en uno no se llegó a acumular las 200 horas. Las temperaturas medias de verano se encuentran por encima del requerido por el cultivo (23,9°C) y el periodo libre de heladas se encuentra por debajo de las exigencias, en estos aspectos las condiciones son favorables. Lo referido a precipitaciones cubre las exigencias, tanto en lo exigido en el mes de marzo para el buen llenado de la nuez como para la estación de crecimiento (considerado entre el 1 de octubre al 30 de abril).

ANTECEDENTES

Clima y Suelo:

La provincia de Corrientes posee un clima subtropical, muy cálido en verano pero con heladas en invierno. Tiene características de clima húmedo, con frecuentes excesos hídricos en otoño y primavera; moderados y eventuales déficit en invierno (Escobar *et al.*, 1996).

La temperatura media anual en la provincia se caracteriza por variar entre 19,5 °C y 22,0 °C. Como consecuencia principalmente de la latitud, las temperaturas aumentan de sur a norte, y una cierta tendencia de aumento este a oeste, debido a la mayor continentalidad. Las isotermas de temperatura media del mes más cálido del verano varían entre 26,0 y 27,5 °C, y las del mes más frío del invierno entre 13,5 °C y 16,0 °C. De manera similar a las medias anuales, éstas también descienden fundamentalmente de norte a sur y en menor magnitud, de oeste a este en la misma latitud. Los rangos de la amplitud anual de la temperatura media, observadas en la provincia son entre 10 y 14 °C, disminuyendo hacia el sur. Se ha clasificado a la provincia como de influencia "marítima de transición", distinguiéndola de aquellas influencias "continentales" o "extrema continental". Las temperaturas máximas absolutas en la provincia de Corrientes registradas en el período considerado como serie histórica (1951/1980), oscilan entre 40 y 44 °C y las mínimas absolutas entre -2 °C y -4 °C (Murphy *et al.*, 2008).

Se han registrado heladas meteorológicas, en toda la provincia, con una frecuencia promedio muy baja, entre 1 a 3 días al año. En la mayor parte de Corrientes estas ocurren entre fines de junio y julio, habiéndose registrado fechas extremas de las primeras y últimas, desde mediados de mayo hasta fines de agosto. No hay lugares libres totalmente de heladas, excepto en algunos microclimas. Por su peligrosidad y gran incidencia en la agricultura, no es suficiente considerar los promedios exclusivamente, sino también la frecuencia de su distribución en el año. Términos como número de días por año con heladas, días libres de heladas, fechas medias probables de la primera y última helada son comunes para la mayoría de los agrónomos. Es importante destacar que la mayoría de las estadísticas climatológicas registran como heladas a aquellas temperaturas debajo de 0°C tomadas en condiciones estándares, en abrigo meteorológico a 1,5 m de altura (Escobar *et al.*, 1996).

En la provincia atraviesan seis isohietas medias anuales para el período de 1951-1980, que oscilan entre 1.100 y 1.600 mm., siendo la tendencia creciente de dirección SO a NE. La distribución anual de precipitaciones tiene dos máximos, en primavera y en otoño, y un mínimo en invierno. En todas las localidades se han registrado varios meses del año sin lluvias. Las máximas mensuales absolutas registradas están entre 400 y 700 mm., el número de días con precipitaciones varía muy poco entre los meses del año; entre 6 y 8 al mes, que totalizan alrededor de 80 a 100 días de ocurrencia de lluvias por año. Se evidencia una inclinación del aumento de las cifras en dirección oeste a este (Escobar *et al.*, 1996).

La radiación solar es el insumo básico de la producción primaria de los seres vivos, y por extensión de la productividad agropecuaria, ya que es el principal "combustible" de la fotosíntesis. Es función de la heliofanía teórica o astronómica, y el grado de nubosidad entre los factores principales. Su variación a lo largo del

año obedece no sólo a la marcha astronómica del sol, que produce las variaciones estacionales de temperatura, sino también con el régimen de nubosidad, y consecuentemente de lluvias (Bianchi y Cravero, 2010). La medición directa de radiación solar incidente no es fácilmente disponible en las estaciones meteorológicas, en su lugar se la puede estimar a partir de fórmulas que relacionan factores climáticos disponibles de un modo más general. La variación de la radiación global estimada, en la provincia es muy escasa en promedio, el valor medio anual en toda la provincia es de 400 cal/cm/día,¹ pero aumenta la amplitud anual hacia el sur. Esto se debe a que la variación que produce principalmente la latitud en la distribución regional de temperatura se compensa por la mayor amplitud de la heliofanía astronómica con el aumento de latitud (Murphy *et al.*, 2008).

Los requerimientos de agua varían entre especies, entre cultivares, a lo largo de la estación de crecimiento y entre ambientes. Su conocimiento es útil para decidir prácticas de manejo que permitan lograr la mayor coincidencia entre la oferta natural de agua y la demanda del cultivo, así como para definir la necesidad de riego (Andrade y Sadras, 2002).

La duración del crecimiento y desarrollo de las fases de una planta depende fundamentalmente de la temperatura. Es importante entonces el concepto de días - grados de crecimiento (DGC) para expresar la relación tiempo-fenología de los cultivos. Cada especie vegetal posee un umbral mínimo y máximo de temperatura, de modo tal que fuera de este rango el cultivo no crece. Así, cada cultivo y sus fases necesitan de una determinada y definida acumulación de calor, medida por los grados de temperatura, más que una acumulación determinada de tiempo calendario para completarla (Escobar *et al.*, 1996).

Por otra parte, se considera con fines agroclimáticos a las horas de frío, como la acumulación de horas con temperaturas por debajo de 7 °C. Es un dato que caracteriza las necesidades térmicas de descanso invernal de algunas especies adaptadas a climas fríos, que se interpretan como un mecanismo biológico de protección contra las heladas. Una vez que las plantas acumularon su requerimiento térmico específico desencadenan los mecanismos fisiológicos para dar inicio a la floración y/o brotación. El número de horas de frío anuales estimadas varían en Corrientes entre 100 a 350 horas, aumentando hacia el sur. Gran parte del territorio no acumula horas de frío efectivas (de mayo a octubre). Solo en el sur, se aproximan entre 0 y algo más de 100 horas. Como consecuencia no existen condiciones adecuadas para el cultivo de especies de frutales criófilos, como manzanos, peras, cerezas y otras más propias de climas templados fríos. El trabajo de los fitomejoradores, sin embargo, ha hecho posible la adaptación de cultivares poco exigentes en horas de frío de algunas de estas especies tales como el duraznero o ciruelos (Escobar *et al.*, 1996).

Capacidad de uso de los suelos:

En la provincia de Corrientes, más del 61% de los suelos presentan problemas de drenaje/inundación y solo los suelos con limitación media por exceso de humedad (encharcables), pueden ser utilizados con agricultura. Los suelos aptos para agricultura, poseen limitaciones por erosión hídrica / eólica (16,1%) y por baja retención de humedad (5,4%), de mediana intensidad. Los suelos aptos para

¹ 1000 cal/cm² (1 Kcal/cm²) = 0.042 GJ/m² (1 GJ = 10⁹ J/m²). 23.9 Kcal/cm² = 1 GJ/m²

agricultura ocupan unas 2.000.000 de ha (23,1% provincial), pertenecen a las Clases II, III (según uso potencial de suelo), y una pequeña proporción de suelos a la Clase IV. La limitante por riesgo de erosión (e), es la más frecuente en los suelos de las Clases II; la combinación de erosión (e) y limitaciones del suelo (s), por baja retención de humedad y baja fertilidad en texturas arenosas, son dominantes en los suelos de la Clase III (Escobar *et al.*, 1996).

Cultivos:

Maíz: asumiendo que no hay mayores restricciones para la germinación y emergencia, ej. reducida impedancia mecánica, adecuada humedad, se puede predecir el tiempo de emergencia de un cultivo de maíz considerando un requerimiento de 61 °C días por sobre una temperatura base (T_b) de 9,8°C. La etapa juvenil, en la cual el meristema apical es insensible al fotoperiodo varía entre 110 °C d para híbridos de ciclo corto y 390 °C d para cultivares tropicales ($T_b = 8$ °C). Superada esta etapa juvenil, el meristema entra en una etapa inductiva manifestando una respuesta de día corto: la tasa de desarrollo se reduce con un aumento del fotoperiodo por encima de un valor crítico de 12 o 13 horas. Las temperaturas cardinales para el desarrollo del maíz dependen del genotipo, de la fase y del método de cálculo utilizado. Los rangos que se citan son: de 6 a 10°C para la temperatura base, de 30 a 34 °C para la óptima y de 40 a 44 °C para la máxima (Andrade y Sadras, 2002).

La etapa inductiva culmina cuando el ápice inicia la diferenciación de las espiguillas estaminadas de la inflorescencia masculina quedando definido el número final de hojas. La duración de la fase juvenil, el fotoperiodo crítico y la sensibilidad fotoperiódica dependen del cultivar. Dado que el fotoperiodo depende de la latitud y de la época del año, la combinación de sitios, fecha de siembra y cultivares darán lugar a un rango de patrones fenológicos dependientes, en parte, del control fotoperiódico del desarrollo reproductivo. Poco después de que el meristema axilar pasa al estado reproductivo, queda definido el número de hileras de espiguillas por espiga; la diferenciación de las espiguillas progresa a una tasa de 1 espiguilla por hilera cada 7,7 °C d, hasta una o dos semanas antes de la emergencia de los estigmas. La rígida relación jerárquica entre panoja y espiga, entre espigas, y entre flores dentro de una espiga son importantes en relación con la susceptibilidad del maíz a condiciones adversas. Una de las manifestaciones más fuertes de esta relación entre órganos es la protandria que se magnifica en condiciones de estrés y que se asocia con la reducción de la granazón. Bajo condiciones favorables que mejoran la sincronía entre floración masculina y femenina, la totalidad de los óvulos de una espiga es polinizada en 2 o 3 días. La fertilización de los óvulos ocurre aproximadamente 24 horas después de la polinización y los estigmas detienen su crecimiento luego de la fecundación. Estrés en R_3 afectará principalmente el peso final de los granos y, aunque en menor medida que en los estadios reproductivos anteriores, el número de granos. Una reducción de la capacidad fotosintética durante este periodo puede ser parcialmente atenuada por la movilización de granos de carbohidratos acumulados en tallo. Si la disponibilidad es muy escasa puede adelantar la madurez fisiológica. Dependiendo del genotipo, el tiempo térmico entre floración y madurez fisiológica varía entre 600 y 900 °C d ($T_b = 8$ °C) (Andrade & Sadras, 2002).

Sorgo: Durante el ciclo del cultivo, se producen cambios en la morfología externa e interna (a nivel del ápice de crecimiento) de las plantas. Desde el punto de vista de

los cambios internos, el ciclo se divide en una etapa vegetativa y otra reproductiva. La primera se caracteriza externamente por la aparición de hojas (a una tasa de 41 °C día/ hoja; T° base = 11 °C) e internamente por su diferenciación (desde la imbibición de la semilla a una tasa de 21 °C día/ hoja). La temperatura de suelo a cinco centímetros de profundidad no debería ser menor de 15°C; para una rápida emergencia de las plántulas, es ideal que esta temperatura vaya en ascenso. La etapa reproductiva comienza cuando el ápice de crecimiento (ubicado aproximadamente un centímetro por debajo de la superficie del suelo) deja de diferenciar primordios de hojas y comienza a separar las estructuras de la panoja, aunque externamente en la planta siguen apareciendo hojas. Este cambio del ápice ocurre alrededor de 30-40 días después de la emergencia, cuando el cultivo presenta entre 7 y 10 hojas totalmente expandidas (V7 —V10). A partir de este momento, el tallo comienza a elongarse y el ápice pasa a estar por encima de la superficie del suelo. Se determinó que la etapa crítica comienza unos 20 días previos a la antesis y finaliza unos 10 días después. Cualquier condición de estrés que reduzca la captación de recursos durante este periodo disminuirá significativamente el rendimiento del cultivo. Los 20 días previos a la antesis son los más críticos y coinciden con el crecimiento rápido de la panoja y la determinación del número de flores fértiles. Condiciones favorables de radiación, humedad, nutrición y temperatura (no menores a 15 °C) aseguran un adecuado crecimiento de las panojas y desarrollo de las flores. Los 10 días posteriores a la antesis también son críticos y coinciden con el cuajado de las flores fecundadas y la determinación del peso potencial del grano (Batalla *et al.*, 2012).

Citrus: es una planta mesofítica, es decir, crece aceleradamente en un periodo lluvioso, cálido, y soporta posteriormente largas sequías con bajas temperaturas. Los cítricos son frutas típicamente de invierno, donde por debajo de los 12°C decrece el flujo de crecimiento y respiración de la planta, mientras la fotosíntesis continúa en plena actividad incrementando los hidratos de carbono. Por otro lado, a estas bajas temperaturas las reservas de almidón se transforman en azúcares. Las mejores zonas citrícolas del mundo, que pueden ofrecer mayor calidad de fruta, se ubican entre los paralelos de 32 y 40 grados de latitud, tanto Norte como Sur. Allí se hacen sentir las bajas temperaturas que provocan la formación de azúcares y ayudan al metabolismo de los pigmentos que permitirán obtener frutas de fuerte colorido en naranjas y mandarinas (Palacios, 2005).

El rango óptimo para el crecimiento de la mayoría de los frutales se ubica entre los 20 y 30 °C (23-34 °C para los cítricos). En el caso del naranjo dulce se observó la caída total de los frutos en un lapso de 30 días, bajo un régimen térmico de 30-34 °C/ 21-25 °C (día/noche) y el estado de fruto de 8 y 10 mm de diámetro. Además, los cambios bruscos de temperaturas ejercen igual o mayor influencia que las altas temperaturas sobre la promoción de la abscisión de frutos (Pascale, 2007)

Pecán: Conti *et al.* (2004) mencionaron que el pecán, si bien admite una gran variedad de ambientes climáticos, su cultivo con éxito económico, es más restringido. Uno de los factores a tener en cuenta, es la longitud del período de crecimiento, definido como el período medio libre de heladas, el que debe oscilar mínimamente entre 180 y 220 días y preferentemente entre 240 y 280 días. Estos autores también mencionan que prefiere temperaturas medias de verano, relativamente altas, siendo más favorables promedios para los meses de diciembre, enero y febrero, superiores a los 23,9 °C. Como todo árbol de hojas caducas, la satisfacción de cierto requerimiento de frío en el período de reposo, es fundamental. El mismo está dado para esta especie, por el número de horas

inferiores a 7 °C, que se establecen como mínimo en 400 horas (Conti *et al.*, 2004).

Las especies de climas templados de hojas caducas, como los de frutos secos, tienen que estar expuestas a un periodo de bajas temperaturas durante el letargo invernal para una adecuada ruptura de la dormición e inicio de la nueva estación de crecimiento (Pecán requiere entre 100-600 horas frío) (Pascale, 2007).

Modelización de los sistemas productivos:

Los sistemas vivos son altamente complejos; muchos componentes interactúan simultáneamente y sus interacciones son altamente no lineales o de naturaleza caótica. La simulación basada en modelos cuantitativos de procesos biológicos y sus interacciones pueden esclarecer considerablemente el funcionamiento de sistemas vivos, y la forma de manejar esos sistemas para alcanzar metas específicas. Durante las últimas décadas, la simulación con computadoras ha probado ser una herramienta poderosa en las ciencias biológicas básicas y aplicadas. El sostenido crecimiento en la utilización de las computadoras personales ha hecho posible que la simulación se torne una parte integral de la investigación biológica en campos básicos y aplicados. Un modelo de simulación es una imitación de un sistema real, o un conjunto de postulados, datos e inferencias presentados como descripciones matemáticas. En el campo de los modelos de simulación agronómica, esta combinación de ecuaciones matemáticas representa conceptualmente un sistema de producción de cultivos simplificado.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Comparar las necesidades de algunos cultivos con la oferta ambiental de las localidades de Monte Caseros y Empedrado.

Objetivos particulares:

- Determinar si los diferentes cultivos se adaptan a las condiciones ambientales (temperatura y precipitaciones).
- Identificar cuál de los cultivos se adapta mejor a la oferta ambiental de cada localidad.

Hipótesis de trabajo.

Los cultivos seleccionados alcanzan una producción aceptable en respuesta a las condiciones ambientales de cada localidad.

La producción de maíz se adapta mejor a las condiciones ambientales de Empedrado que la de sorgo; y el cultivo de cítricos responde más adecuadamente a Monte Caseros que el de nuez pecán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cultivos a evaluar:

Empedrado: Maíz y Sorgo

Monte Caseros: Cítrico y Pecán

1. Sistema de simulación utilizado:

Para la simulación del crecimiento del cultivo se tomó como herramienta el sistema DSSAT (Decision Support System of Agrotechnology Transfer), un programa de computación interactivo que permite utilizar datos y modelos de simulación para resolver problemas específicos. Incluye un programa que integra los modelos de simulación de cultivos, con una base de datos, un programa de utilidades, y programas de aplicación de las simulaciones DSSAT v46 Shell (Hoogenboom *et al.*, 2015).

Los modelos incluidos en DSSAT comparten un protocolo común para las entradas ("Conjunto mínimo de datos necesarios para correr un modelo"), y salidas de los mismos. Son acompañados de herramientas de análisis de sus salidas, y de generación de información para las simulaciones (creación de suelos, datos climáticos, etc).

1.1. Entradas del modelo DSSAT:

1.1.a Archivos de Datos Meteorológicos:

Para poder ejecutar el modelo se requieren datos diarios meteorológicos durante el período de la simulación. Si esta última abarca sólo la estación de crecimiento, se necesitará datos meteorológicos desde la fecha de siembra hasta la fecha de madurez de cosecha.

Entrada de datos meteorológicos (Imagen 1) al modelo (utilizando sistema inglés de escritura por ser programa internacional):

La primera línea presenta la localización de la estación: localidad, estado/provincia, país.

La segunda y tercera líneas muestran, respectivamente, los códigos y denominaciones o valores asignados para: el instituto (INSI: IN= Instituto SI= Sitio; ejemplo= INCO, INTA Corrientes), la latitud (LAT = 27,650 grados decimales, valores negativos para el hemisferio sur), la longitud (LONG = 58,770 grados decimales, negativo para longitud Oeste), la elevación (ELEV = 79 m), la temperatura media anual (TAV = 21,1 °C), la amplitud térmica media anual (AMP = 12 °C), la altura de referencia para la medición de la temperatura (REFHT = 1,5 m) y la altura de referencia para la medición de la velocidad del viento (WNDHT = 2,0 m).

La cuarta línea presenta los códigos para fechas de observaciones (DATE Año + día juliano), la radiación solar (SRAD), la temperatura máxima (TMAX), la temperatura mínima (TMIN), las precipitaciones (RAIN) y la radiación fotosintéticamente activa (PAR).

La quinta línea presenta los valores correspondientes al primer día del año considerado: DATE 13001 (Año 2013, día juliano 001); SRAD 8,0 MJ/m²/d¹; TMAX 29,9 °C; TMIN = 19,4 °C; RAIN = 0,0 mm, y PAR (radiación fotosintéticamente activa, siglas en inglés) en moles. m²/d¹. Las líneas subsiguientes presentan los valores para los sucesivos días del año

*WEATHER DATA : Corrientes,Argentina

@ INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT
INCO	-27.650	-58.770	79	21.1	12	1.5	2.0
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	PAR		
13001	8.0	29.9	19.4	0.0			
13002	29.1	26.0	13.9	0.0			
13003	28.8	30.0	14.5	0.0			
13004	29.5	34.2	22.0	0.0			
13005	18.6	35.9	19.9	21.5			
13006	18.6	29.5	21.3	72.5			
13007	14.5	29.7	21.7	11.0			
13008	28.9	31.8	22.3	0.0			

Imagen 1: Datos meteorológicos insertados en el modelo DSSAT.

Con excepción de la PAR, el resto de las variables constituye el conjunto de datos mínimos para poder obtener datos simulados.

1.1.b Archivo de Datos de Suelos:

Entrada de datos de suelo al modelo (Imagen 2):

Las variables cargadas al modelo son: profundidad y nombre de cada horizonte, textura (arcilla y limo, porcentaje de arena resulta de restar de 100 los porcentajes de arcilla y limo, razón por la cual no es incluido como un dato de entrada), Carbono orgánico, Nitrógeno total, Calcio, Magnesio, Potasio, Capacidad de intercambio catiónico, pH.

En el archivo de suelos, cada suelo presenta una primera línea de datos que contiene el código identificador del suelo, información relacionada a su localización, profundidad, serie y clase textural. Por ejemplo el tipo de suelo INMZ150001 se localiza en Empedrado, ARG, posee 110 cm de profundidad pertenece a la serie Carolina.

La segunda y tercera líneas contienen respectivamente códigos e información sobre datos geográficos (@SITE, localidad; COUNTRY, país; LAT, latitud; LONG, longitud), y taxonómicos (SCS FAMILY).

La cuarta y quinta líneas presentan, respectivamente, los códigos y la información sobre las propiedades del suelo que no dependen de su profundidad, tales como: color en húmedo Munsell hue (SCOM), albedo superficial (SALB), límite de evaporación en la fase I (SLU1, cm), tasa de drenaje (SLDR, fracción d-1), curva número de escurrimiento (SLRO, servicio de conservación de suelos), factor de mineralización de nitrógeno (SLNF 0-1), factor de fotosíntesis (SLPF 0-1), código de método de determinación de pH en buffer (SMHB), código de método de determinación de fósforo extractable (SMPX) y código de método de determinación de potasio (SMKE).

La sexta línea contiene los códigos de la información que debe discriminarse por capas: SLB (cm) es la profundidad de la base de la capa, SLMH la denominación del horizonte (Ap, A2, 2Bt, etc), SLLL (cm³/cm³) es el contenido de agua en el límite inferior de agua extraíble, SDUL (cm³/cm³) es el contenido de agua de un suelo drenado, SSAT (cm³/cm³) el contenido de agua de un suelo saturado, SRGF factor de crecimiento de raíces (0-1), SSKS (cm/h¹) conductividad hidráulica de macroporos del suelo saturado, SBDM (g/cm³) densidad aparente, SLOC el porcentaje de carbono orgánico, SLCL el porcentaje de arcilla, SLSI el porcentaje de limo, SLCF el porcentaje de fracción gruesa > 2 mm, SLNI el porcentaje de Nitrógeno total, SLHW el pH en agua, SLHB el pH en buffer y SCEC (cmol/kg) la capacidad de intercambio de cationes.

Valores -99, corresponden a datos inexistentes, en variables complementarias.

```
*Soils: INTA, Argentina

*INMZ150001 INTA LS 110 CAROLINA
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY
EMPEDRADO ARG -27.65 -58.77 Paleudoles típicos, franco fina, mixta.
@ SCOM SALB SLU1 SLDR SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE
BN .13 9.8 .4 35 1 1 IB001 IB001 IB001
@ SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI SLCF SLNI SLHW SLHB SCEC SADC
11 Ap .049 .177 .509 1 .4 1.3 .74 6.2 17.1 -99 .07 5.8 -99 7.3 -99
37 A2 .048 .182 .547 1 .4 1.2 .84 11.1 22.7 -99 .08 5.3 -99 11.5 -99
55 2Bt .051 .186 .585 1 .4 1.1 .81 21.8 19.2 -99 .08 5.4 -99 17.5 -99
110 2BC .064 .198 .585 1 .4 1.1 .41 32.8 18.3 -99 .03 6.3 -99 24 -99
```

Imagen 2: Datos de suelo insertados en el modelo DSSAT.

1.2. Salida del modelo DSSAT:

1.2.a Archivo OVERVIEW.OUT:

En la Imagen 3 se puede observar que brinda una visión general de las condiciones iniciales y desempeño del cultivo, y una comparación con los datos observados, si estos están disponibles; conserva la información que aparece en pantalla durante la corrida del modelo.

La primera sección presenta información que describe el conjunto de datos de la simulación, según se detalla a continuación.

Línea 1: El número de corrida y descripción del tratamiento

Línea 2: Nombre y versión del modelo

Línea 3: Nombre del experimento, código de instituto y sitio, número de experimento y código de cultivo.

Línea 4: Número de tratamiento y especificaciones.

Línea 5: Cultivo, variedad y ecotipo.

Línea 6: Fecha de inicio de la simulación.

Línea 7: Fecha de siembra, densidad y espaciado.

Línea 8: Ubicación de la estación meteorológica y año.

Línea 9: Número de suelo, textura y familia.

Línea 10: Condiciones iniciales del suelo.

Línea 11: Balance de agua.

Línea 12: Riego.

Línea 13: Balance de nitrógeno.

Línea 14: Aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Línea 15: Aplicación de residuos.

Línea 16: Opciones de ambiente.

Línea 17: Opciones de simulación.

Línea 18: Opciones de manejo.

SIMULATION OVERVIEW FILE

DSSAT Cropping System Model ver. 4.5.1.023 -Stub MAY 31, 2016; 09:36:56

```
RUN      1      : 2013                      SGCER045 INCO1501      1
MODEL     : SGCER045 - Grain sorghum
EXPERIMENT : INCO1501 SG ECOFISIOLOGIA SORGO
DATA PATH  : C:\DSSAT45\Sorghum\
TREATMENT 1      : 2013                      SGCER045
```

```
CROP      : Grain sorghum      CULTIVAR : 38M                      ECOTYPE :IB0001
STARTING DATE : JAN 15 2013
PLANTING DATE : JAN 15 2013      PLANTS/m2 : 18.0      ROW SPACING : 52.cm
WEATHER      : INCO 2013
SOIL         : INP1150001      TEXTURE : LS      - SERIE CAROLINA
SOIL INITIAL C : DEPTH:110cm EXTR. H2O:146.9mm NO3: 21.4kg/ha NH4: 2.5kg/ha
WATER BALANCE : IRRIGATE ON REPORTED DATE(S)
IRRIGATION   : 0 mm IN 0 APPLICATIONS
NITROGEN BAL. : SOIL-N & N-UPTAKE SIMULATION; NO N-FIXATION
N-FERTILIZER : 0 kg/ha IN 0 APPLICATIONS
RESIDUE/MANURE : INITIAL : 0 kg/ha ; 0 kg/ha IN 0 APPLICATIONS
ENVIRONM. OPT. : DAYL= 0.00 SRAD= 0.00 TMAX= 0.00 TMIN= 0.00
                RAIN= 0.00 CO2 = 0.00 DEW = 0.00 WIND= 0.00
SIMULATION OPT : WATER :Y NITROGEN:Y N-FIX:N PHOSPH :N PESTS :N
                PHOTO :C ET :R INFIL:S HYDROL :R SOM :G
                CO2 357ppm NSWIT :1 EVAP :S SOIL :2
MANAGEMENT OPT : PLANTING:R IRRIG :R FERT :R RESIDUE:R HARVEST:M
                WEATHER :M TILLAGE :Y
```

Imagen 3: Conjunto de datos de la simulación.

Se puede observar, en la salida anterior, que la siembra se produjo el 15 de enero (para los años 2013, 2015 y 2016), con una densidad de plantas establecidas de 18 plantas/m² (equivalente a 180.000 plantas por hectárea) y un espaciado entre hileras de 52 cm. Las condiciones iniciales de suelo para una profundidad de 110 cm fueron: 146,9 mm de agua, 21,4 kg/ha de nitrato y 2,5 kg/ha de amonio.

La segunda sección (Imagen 4) contiene un resumen de las características del suelo y coeficientes genéticos del cultivar:

*SUMMARY OF SOIL AND GENETIC INPUT PARAMETERS												
SOIL DEPTH cm	LOWER LIMIT cm3/cm3	UPPER LIMIT cm3/cm3	SAT SW cm3/cm3	EXTR SW cm3/cm3	INIT SW cm3/cm3	ROOT DIST	BULK DENS g/cm3	pH	NO3 ugN/g	NH4 ugN/g	ORG C %	
0- 5	0.049	0.177	0.509	0.128	0.177	1.00	1.30	5.80	1.70	0.20	0.74	
5- 15	0.049	0.179	0.524	0.130	0.179	1.00	1.26	5.60	1.70	0.20	0.78	
15- 26	0.048	0.182	0.547	0.134	0.182	1.00	1.20	5.30	1.70	0.20	0.84	
26- 37	0.048	0.182	0.547	0.134	0.182	1.00	1.20	5.30	1.70	0.20	0.84	
37- 46	0.051	0.186	0.585	0.135	0.186	1.00	1.10	5.40	1.70	0.20	0.81	
46- 55	0.051	0.186	0.585	0.135	0.186	1.00	1.10	5.40	1.70	0.20	0.81	
55- 82	0.064	0.198	0.585	0.134	0.198	1.00	1.10	6.30	1.70	0.20	0.41	
82-110	0.064	0.198	0.585	0.134	0.198	1.00	1.10	6.30	1.70	0.20	0.41	
TOT-110	6.2	20.9	62.5	14.7	20.9	<--cm	-	kg/ha-->	21.4	2.5	77657	
SOIL ALBEDO	: 0.13		EVAPORATION LIMIT		: 9.80		MIN. FACTOR		: 1.00			
RUNOFF CURVE #	:35.00		DRAINAGE RATE		: 0.40		FERT. FACTOR		: 1.00			
Grain sorg CULTIVAR :IB0025-38M							ECOTYPE :IB0001					
P1	:291.0	P20	:13.00	P2R	: 12.0	P5	:540.00					
G1	: 0.0	G2	: 6.00	PHINT	: 49.00	P3	: 152.5	P4	: 81.5			

Imagen 4: Características del suelo y cultivar.

La tercera sección (imagen 5) muestra el estado del suelo y del cultivo en la fecha de ocurrencia de los principales estadios de desarrollo:

SIMULATED CROP AND SOIL STATUS AT MAIN DEVELOPMENT STAGES

RUN NO. 1 2013

DATE	CROP AGE	GROWTH STAGE	BIOMASS kg/ha	LAI	LEAF NUM	CROP N kg/ha	N %	STRESS H2O	N	STRESS P1	P2	RSTG
15 JAN	0	Sowing	0	0.00	0.0	0	0.0	0.00	1.00	0.00	0.00	8
15 JAN	0	Start sim	0	0.00	0.0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	8
16 JAN	1	Germinate	0	0.00	0.0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	9
20 JAN	5	Emergence	3	0.00	0.6	0	5.1	0.00	0.00	0.00	0.00	1
4 FEB	20	End Juveni	86	0.19	7.4	4	5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	2
10 FEB	26	Panicle In	446	0.78	9.8	17	3.7	0.00	0.01	0.00	0.00	3
9 MAR	53	End Lf Gro	3949	2.30	19.1	33	0.8	0.00	0.41	0.00	0.00	4
20 MAR	64	Anthesis	5265	2.07	19.1	35	0.7	0.00	0.49	0.00	0.00	4
26 MAR	70	End Pan Gr	6231	2.00	19.1	35	0.6	0.00	0.43	0.00	0.00	5
4 MAY	109	Maturity	7132	0.74	19.1	38	0.5	0.00	0.72	0.00	0.00	7
4 MAY	109	Harvest	7132	0.74	19.1	38	0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	7

Imagen 5: Estados de suelo y cultivo durante período de simulación.

La cuarta sección (Imagen 6) presenta información de los factores de estrés simulados, y el resumen de los datos meteorológicos durante las diferentes fases de desarrollo del cultivo:

ENVIRONMENTAL AND STRESS FACTORS

Development Phase		Environment							Stress (0=Min, 1=Max Stress)						
	Time Span days	Temp Max °C	Temp Min °C	Average		Cumulative			Water		Nitrogen		Phosphorus		
				Solar Rad MJ/m2	Photop [day] hr	CO2 ppm	Rain mm	Evapo Trans mm	Photo synth	Growth	Photo synth	Growth	Photo synth	Growth	
Emergence-End Juvenile	15	33.5	19.7	24.6	13.39	356.6	23.9	28.7	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	
End Juvenile-Panicle Ini	6	32.4	17.7	26.7	13.18	356.6	0.0	11.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Panicle Ini-End Lf Grow	27	31.8	19.6	19.4	12.77	356.7	106.2	125.3	0.000	0.000	0.164	0.388	0.000	0.000	
End Lf Grth-Beg Grn Fill	17	26.6	18.1	16.1	12.18	356.7	193.0	63.4	0.000	0.000	0.171	0.473	0.000	0.000	
Grain Filling Phase	38	28.0	15.9	15.9	11.42	356.8	185.5	123.3	0.000	0.000	0.520	0.755	0.000	0.000	
Planting to Harvest	110	30.0	18.1	19.1	12.32	356.7	508.6	362.1	0.000	0.000	0.246	0.439	0.000	0.000	
Grain sorghum YIELD :				1755 ka/ha		[Dry weight]									

Grain sorghum YIELD : 1755 kg/ha [Dry weight]

Imagen 6: Factores de stress.

1.2.b Archivo WATER.OUT y PLANTGRO.OUT: De estas salidas del sistema DSSAT se puede obtener gráficos e interpretar los factores meteorológicos que intervienen en el crecimiento y desarrollo del cultivo (Ovando & Dardanelli, 2002).

1.3 Ecuaciones para simular datos faltantes:

1.3.a Constantes de humedades de suelo:

Para la serie Carolina no se determinaron estas constantes; por lo tanto, los datos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente se calcularon en el software Excel en un modelo basado en Travasso & Suero (1994). Los datos necesarios para el cálculo de las constantes de humedad del suelo son: a) Espesor de los horizontes (cm), b) Arcilla (%), c) Limo (%).

1.3.b Horas Frío:

Este parámetro se encuentra disponible en los datos de Monte Caseros para los años 2014/15, sin embargo, no en 2013 por lo tanto para este período se recurrió a un método de cálculo que fue validado con los datos de los otros años.

MÉTODO LINEAL:

Se trata del método utilizado en la zona intermontana de Estados Unidos, para las estaciones que no cuentan con registro horario de la temperatura (Anderson & Seeley, 1992). Se asume una marcha lineal de la temperatura horaria y una diferencia de 12 horas entre la ocurrencia de la mínima y de la máxima.

Se aplica la misma fórmula para el período desde la mínima hacia la máxima y para el período que va desde la máxima hacia la mínima, siendo la temperatura máxima la misma en ambos casos, mientras que son diferentes las temperaturas mínimas consideradas. Las horas de frío (HF) de un día se estiman:

$$HF(1) = 12 \cdot (7 - t_{min1}) / (t_{max} - t_{min1})$$

$$HF(2) = 12 \cdot (7 - t_{min2}) / (t_{max} - t_{min2})$$

$$HF = HF(1) + HF(2)$$

$t_{min(1)}$ y $t_{min(2)}$: son las temperaturas mínimas anterior y posterior a la máxima. No se efectúa el cálculo en los casos en que la temperatura mínima es igual o superior a 7°C. (Alonso *et al.*, 2001)

3. Recopilación de datos primarios:

3.1. Datos de suelo.

Los datos de suelo se tomaron de estudios realizados por el equipo de recursos naturales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de las localidades de Empedrado y Monte Caseros (Ligier (ed) 2016).

3.1.a Serie CAROLINA (Tabla 1): *Paleudoles típicos, franco fina, mixta.*

Secuencia de horizontes: Ap- A- 2Bt1- 2Bt2- 2Bt3.

Descripción morfológica: Ubicado en lomas disectadas o semidisectadas, con pendientes que van del 1 al 2%, la vegetación natural se compone de gramíneas (*Paspalum notatum*, *Paspalum plicatum*, *Cynodon dactilon* y *Setaria geniculata*); leguminosas (*Desmodium* y *Trifolium sp*) y malezas (*Vernonia chamaedrys* y *Eringiun sp.*). Son medianamente profundos, moderadamente bien drenados, con escurrimiento medio a lento y moderadamente permeables.

Presenta un epipedón mólico de alrededor de 40 cm, de textura franca y un horizonte subsuperficial argílico y textural, con concreciones de carbonato de calcio entre los 80 y 100 cm, dificulta en parte la penetración de las raíces y la circulación del agua. Son notables las manchas de hierro oxidado sobresalientes en la matriz del perfil. La profundidad efectiva es de alrededor de 100cm.

Suelos de muy buena fertilidad y de los más utilizados para cultivos, debe su mayor inconveniente a los problemas de erosión hídrica cuando se localiza en lugares con pendientes mayores al 1%, agravando dicha situación el manejo sobre planteos de siembra convencional y de escasa cobertura.

Capacidad de uso: Ile

Índice de productividad: 62

Tabla 1: Datos analítico Serie Carolina:

HORIZONTE	Ap	A2	2Bt	2Btk	2BC
PROFUNDIDAD (cm)	0-11	11-37	37-55	55-110	>110
TEXTURA	Ar.Fr	Fr. AR	Fr.arc.Ar.	Fr.arc.Ar.	Fr.arc.Ar.
ARCILLA (<0,002mm)	6,20	11,10	21,80	32,80	27,70
LIMO (0,002-0,05-mm)	17,10	22,70	19,20	18,30	20,00
ARENA MF (0,05-0,10mm)	3,20	2,60	2,90	2,60	2,80
ARENA F (0,10-0,25mm)	41,90	36,40	33,60	27,20	30,10
ARENA ME (0,25-0,50mm)	30,20	26,20	20,90	17,40	18,50
ARENA GR (0,50-1,00 mm)	1,40	1,00	1,40	1,60	0,90
ARENA MG (1,00-2,00mm)	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
ARENA TOTAL (%)	76,70	66,20	59,00	48,80	52,30
CC (%)	9.2	12.1	16.3	20.9	19.0
PMP (%)	4.9	6.4	8.6	11.0	10.0
AGUA UTIL (%)	4.3	5.7	7.7	9.9	9.0
pH 1:2,5	5,80	5,30	5,40	6,30	6,80
CONDUCTIVIDAD (mmhos cm ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND
MO (%)	1,28	1,45	1,40	0,71	0,28
CO (%)	0,74	0,84	0,81	0,41	0,16
NT (%)	0,07	0,08	0,08	0,03	0,02
CALCIO, Ca ⁺⁺ (cmol kg ⁻¹)	4,40	7,10	11,90	17,80	16,60
MAGNESIO, Mg ⁺⁺ (cmol kg ⁻¹)	1,00	1,20	2,30	3,60	3,70
POTASIO, K ⁺ (cmol kg ⁻¹)	0,40	0,30	0,30	0,50	0,60
SODIO, Na ⁺ (cmol kg ⁻¹)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
H: ACIDEZ INT. (cmol kg ⁻¹)	1,40	2,80	2,90	2,00	1,00
S: SUMA BASES (cmol kg ⁻¹)	5,90	8,70	14,60	22,00	21,00
T:CIC (cmol kg ⁻¹)	7,30	11,50	17,50	24,00	22,00
V: SAT. BASES (%)	81,00	76,00	83,00	92,00	95,00
PSI %	1,37	0,87	0,57	0,42	0,45
P ASIM. (ppm)	ND	ND	ND	ND	ND

OBSERVACIONES:

ND. No determinado.

Sombreado de amarillo. Calculado en forma empírica, según Travasso & Suero (1994).

3.1.b Serie ESCUELA 490 (Tabla 2). *Argiudoles vérticos*, franco fina*Secuencia de horizontes:* A – Bt – BC – Css – 2Ckss.

Descripción morfológica: En albardones formados por lomas de cimas planas, en posición de media lomas se encuentra la serie “Escuela 490”, el tapiz vegetal está compuesto de gramíneas herbáceas (*Paspalum sp.* y cola de zorro) mezcladas con pichana blanca. Con pendiente cercana al 2 % de una longitud no mayor a los 300 m, tiene un escurrimiento medio y un drenaje bueno.

Presenta un epipedón mólico de color oscuro de más de 20 cm de espesor, de buena estructura que combina gránulos y bloques subangulares medios y friables, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo marrón muy oscuro en húmedo y marrón grisáceo en seco. El horizonte argílico se expresa con claridad entre los 23 y los 40 cm, con presencia de clayskin sobre la cara de los agregados, formado por bloques angulares y subangulares medios moderados, de textura franco arcillo arenosa, plástico y adhesivo.

A los 40 cm aparece un horizonte de transición BC, de coloración más clara que los suprayacentes, con signos de hidromorfismo traducidos en manchas de hierro oxidado y abundantes nódulos de hierro manganeso. Desde esta porción del perfil y continuando hacia abajo, se distinguen caras de fricción (slickensides) y grietas verticales que le brindan el carácter vértico. Subyacente a este horizonte transicional se encuentran el horizonte C (Css-Ckss) con presencia de carbonato de calcio en bolsones y de estructura masiva combinado con bloques de distintos tamaños, muy plástico y muy adhesivo, de colores más claros con ciertos rasgos de hidromorfía como ser manchas de hierro y nódulos de hierro manganeso.

Estos suelos presentan ligeras limitaciones para agricultura, por riesgo de erosión hídrica pero tiene buena vocación desde el punto de vista químico, siendo adecuados para establecer planteos de rotación de cultivos anuales que pueden incluir a la ganadería con la implantación de pasturas atendiendo siempre a no dejar suelo descubierto para evitar procesos erosivos.

Capacidad de Uso: IIIe

Índice de Productividad: 53

Tabla 2: Datos analítico Serie Escuela 490:

HORIZONTE	A	Bt	BC	Css	2Ckss
PROFUNDIDAD (cm)	0-23	23-40	40-59	59-88	>88
TEXTURA	Fr.Ar.	Fr.arc.Ar.	Fr.arc.Ar.	Fr.arc.Ar.	Fr.
ARCILLA (<0,002mm)	17,6	25,5	34,3	34,9	21,8
LIMO (0,05-0,002mm)	10,4	12,7	14,6	17,3	30,2
ARENA MF (0,10-0,05mm)	1,58	1,54	1,14	1,86	1,46
ARENA F (0,25-0,10mm)	6,84	6,4	5,86	5,74	6,8
ARENA ME (0,5-0,25mm)	60,6	49,66	41,36	38,1	37,38
ARENA GR (1-0,5 mm)	2,4	3,5	1,7	1,58	1,6
ARENA MG (2-1mm)	0,58	0,7	1,04	0,52	0,76
ARENA TOTAL (%)	72	61,8	51,1	47,8	48
CC (%)	8,59	10,29	18,79	17,81	16,36
PMP (%)	4,35	5,5	10,09	9,31	9,03
AGUA UTIL (%)	4,24	4,79	8,7	8,5	7,33
pH 1:2,5	6,41	6,67	6,75	6,66	6,72
CONDUCTIVIDAD(mmho/cm)	0,07	0,06	0,09	0,08	0,23
M,O, (%)	1,71	1,07	0,6	0,31	0,27
C,O, (%)	0,99	0,62	0,35	0,18	0,16
N, T, (%)	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01
CALCIO, Ca⁺⁺(cmol/kg)	3,8	5,6	7,4	7,4	10
MAGNESIO, Mg⁺⁺ (cmol/kg)	1,4	0,8	1,6	2,6	3,2
POTASIO, K⁺(cmol/kg)	0,64	1,18	1,56	0,87	0,11
SODIO, Na⁺ (cmol/kg)	0,52	0,89	1,18	0,85	0,37
ACIDEZ INT, (cmol/kg)	3,84	4,08	4,64	3,76	2,24
SUMA BASES, S (cmol/kg)	6,36	8,47	11,74	11,72	13,67
C,I,C,, T (cmol/kg)	10,2	12,55	16,38	15,48	15,91
SAT, BASES, V (%)	62,36	67,5	71,67	75,71	85,92
PSI %	5,12	7,12	7,2	5,47	2,31
P ASIM, (ppm)	29,73	9,23	1,03	T	1,13

OBSERVACIONES:

Se tomará como valor mínimo de referencia en fósforo 1,00 ppm, considerándose trazas (T) los valores inferiores al mismo.

3.2. Datos climáticos.
3.2.a Localización de las estaciones meteorológicas:

La Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Corrientes está ubicada a 27° 40' 08" latitud Sur, 58° 45' 44" longitud Oeste y a 63 msnm en la localidad El Sombrero sobre RN 12 Km 1008, Argentina (Imagen 7).

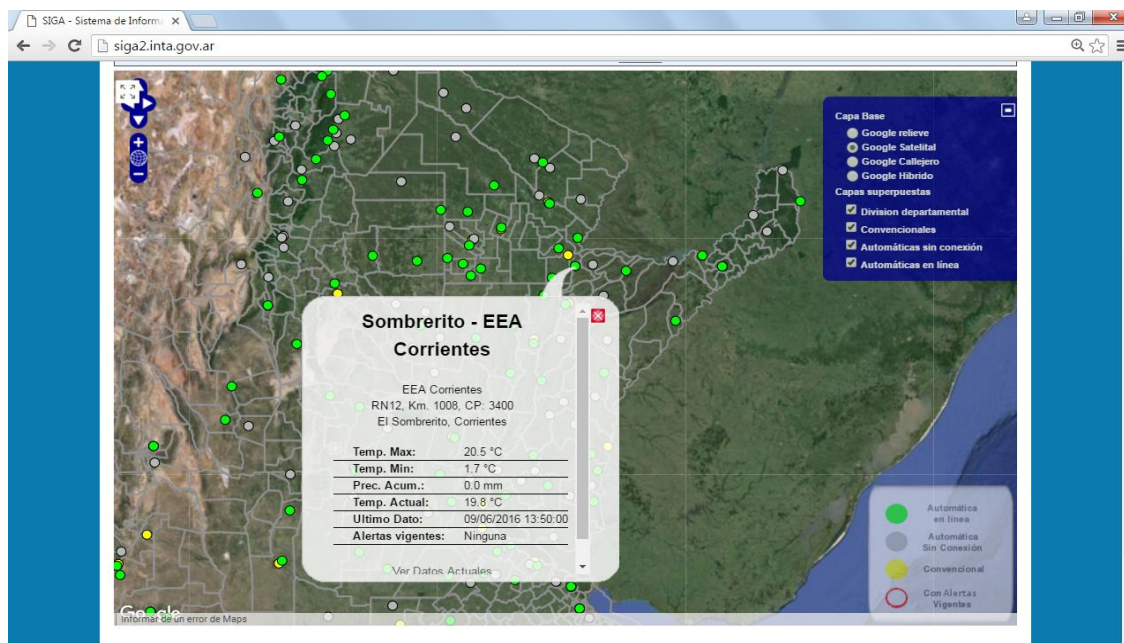


Imagen 7: Localización de la estación meteorológica de la EEA Corrientes de INTA (Captura de imagen del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico- SIGA).

La estación meteorológica de la Red de Centrales Meteorológicas de la localidad de Monte Caseros provincia de Corrientes, se encuentra ubicada a 30°14'45,2" latitud Sur, 57°40'58,8" longitud Oeste sobre RP 25, Argentina (Imagen 8).

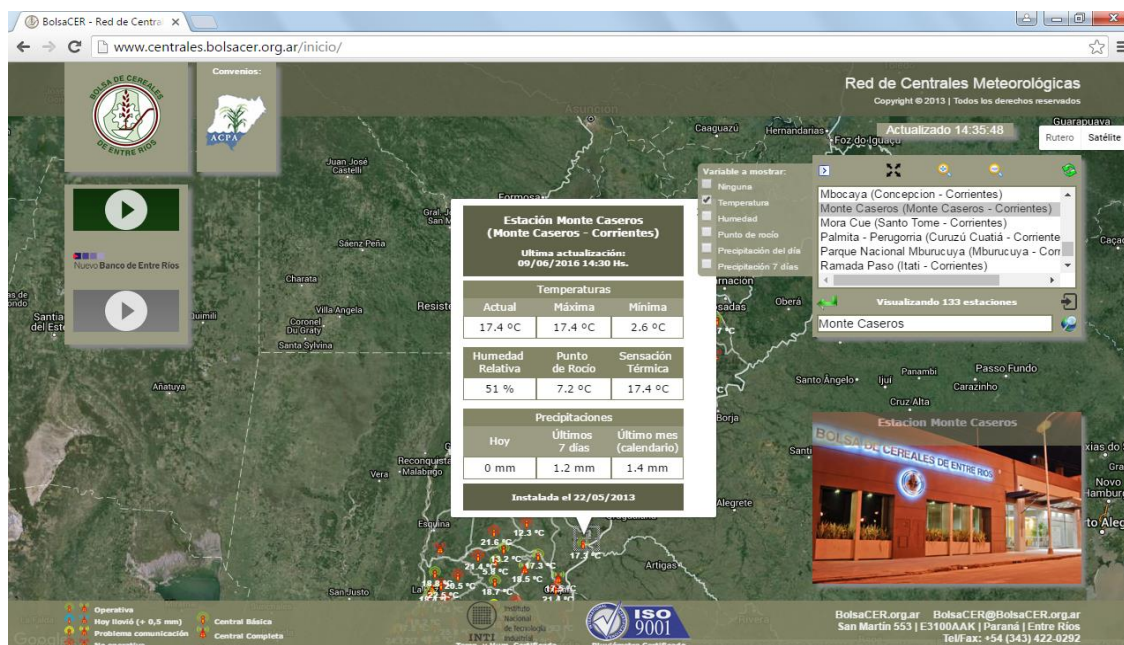
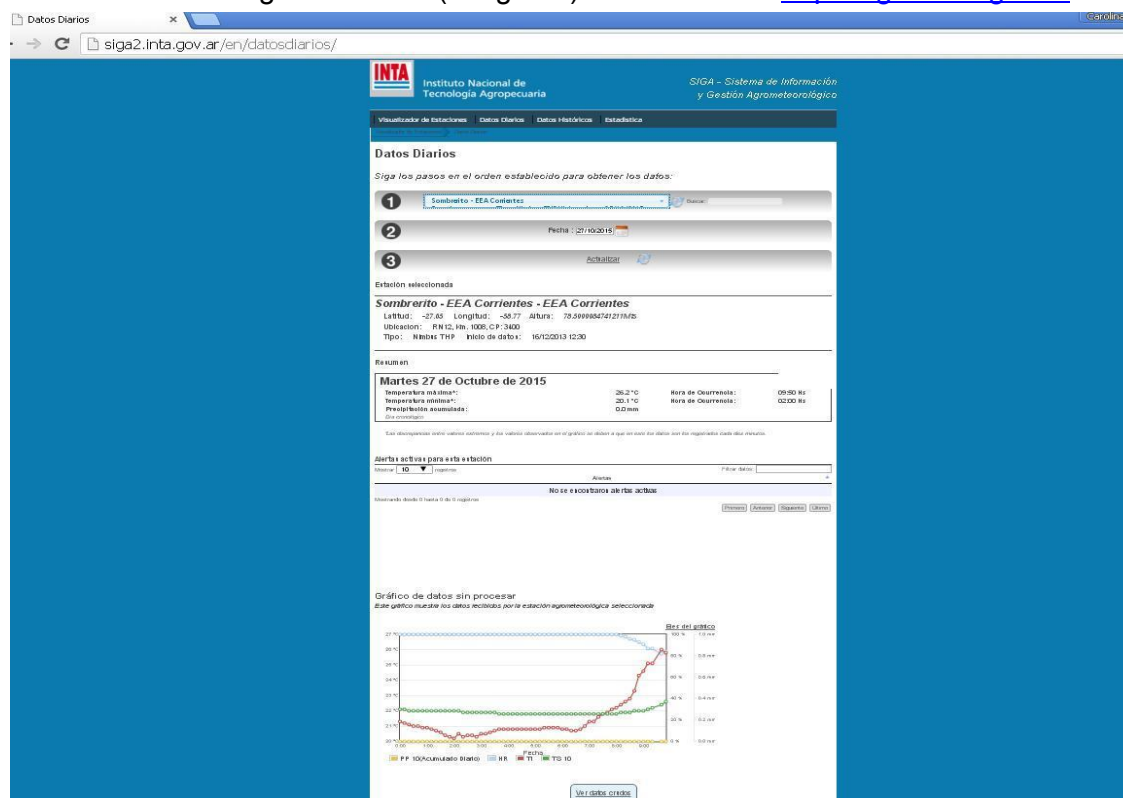
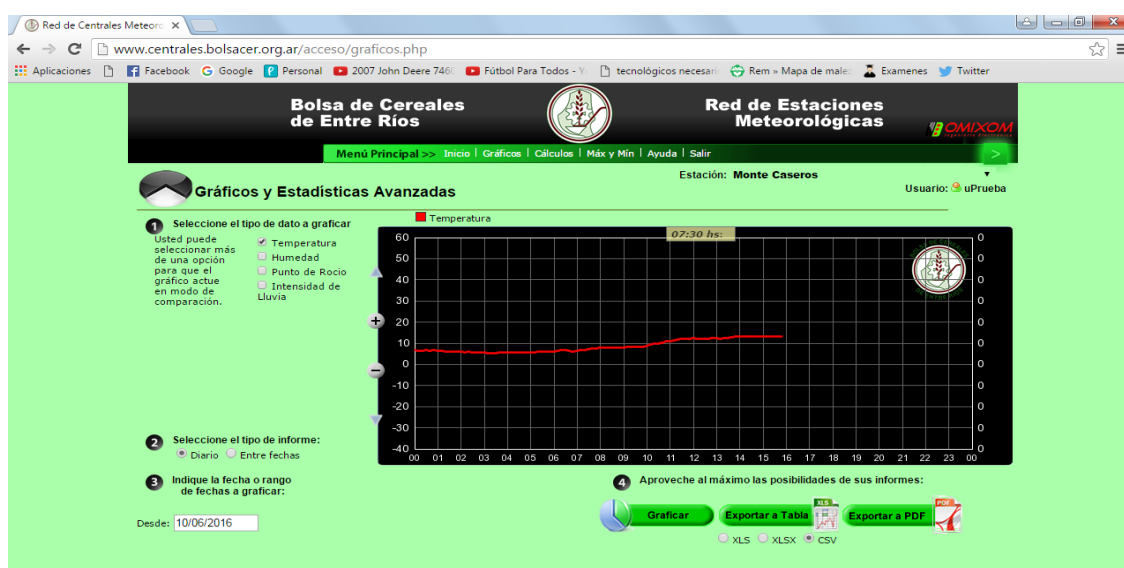


Imagen 8: Localización de la estación meteorológica Monte Caseros (Captura de imagen de la Red de Centrales Meteorológicas).

3.2.b Para la obtención de la serie de datos se utilizaron las siguientes páginas:Estación meteorológica de INTA (Imagen 9) El Sombrerito: <http://siga2.inta.gov.ar>**Imagen 9:** Página SIGA 2

De esta página podemos obtener los datos diarios necesarios para utilizar el modelo (radiación, temperatura máxima y mínima, precipitaciones). Todas estas variables están en las unidades que el modelo requiere.

Estación meteorológica Monte Caseros (Imagen 10):

<http://www.centrales.bolsacer.org.ar>**Imagen 10:** Página Bolsa de Cereales de Entre Ríos.

Esta página provee los datos para las “entradas” del modelo ya mencionado al igual que la página anterior, con la salvedad de que los datos están cada 10 min (el modelo requiere datos diarios), para ello hay que trabajar sobre ello y obtener los datos diarios de temperatura máxima y mínima, precipitación y radiación. Con respecto a las unidades, esta estación provee la radiación en W (vatio) y el modelo exige en megajoule por metro cuadrado por día ($\text{MJ/m}^2\text{d}$), lo que se hace necesario realizar una conversión de las mismas.

4. Metodología estadística:

Se realizó análisis de las series edafológicas y climáticas en relación a los requerimientos de los cultivos seleccionados para cada sitio, con tal motivo se utilizó en el graficador del software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2012) y el software Excel.

Proyecciones con datos climáticos actuales

1. Análisis de datos 2013-2014
2. Análisis de datos 2014-15

Para la localidad de Empedrado, se tomó los registros meteorológicos de 2016 en reemplazo de 2014, debido a que no se tienen registros de este último.

Correlación entre requerimientos productivos de maíz, sorgo, pecán y cítricos; y datos tomados de estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en cada localidad de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Zea mays (maíz)

Considerando que la germinación y la emergencia del cultivo no tienen requerimientos edafoclimáticos extremos, se puede predecir el tiempo de emergencia. Para la etapa juvenil se debe considerar en cambio, más la acumulación térmica, y por consiguiente es importante el fotoperiodo. Todos estos parámetros son los atendibles a la hora de realizar un modelo de simulación (Andrade & Sadras, 2002).

Dos estados fenológicos o “fenoestados” delimitan una fase fenológica. Así hablamos, por ejemplo, de la fase siembra-emergencia, anthesis-madurez o siembra-madurez. La duración de una fase habitualmente medida en días, depende de la temperatura (Andrade & Sadras, 2002).

Los estados fenológicos considerados por el sistema DSSAT se encuentran detallados en la Tabla 3, y ayudará a comprender los gráficos que se mostrarán a continuación.

Tabla 3: Referencias de estados fenológicos de los cultivos (maíz y sorgo).

Estados de desarrollo del sistema DSSAT		
Estado	Cultivo	Hasta
1	Maiz Sorgo	Fin estado juvenil Fin estado juvenil
2	Maiz Sorgo	Iniciacion panoja Iniciacion panoja
3	Maiz Sorgo	Emision de estigmas Fin crec. Foliar
4	Maiz Sorgo	Inicio llenado efectivo Fin crec. Panoja
5	Maiz Sorgo	Fin llenado Fin llenado

Se presenta en el Gráfico 1 de barras, las fases de desarrollo del cultivo de maíz, con su respectiva duración en los años de estudio. En los años para los cuales se realizó la simulación se obtuvo una gran similitud en fases para 2015-16 con diferencia en el 2013 para las tres últimas fases.

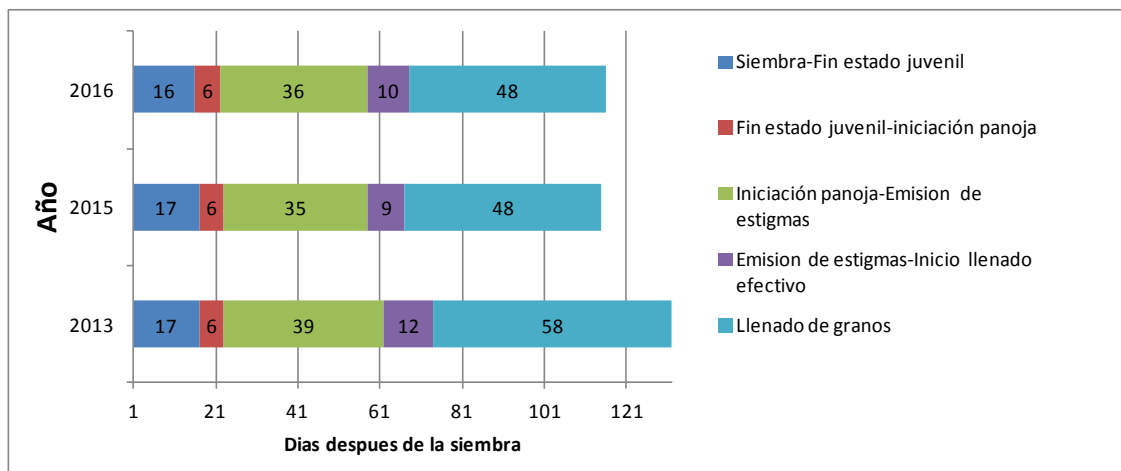


Gráfico 1: Etapas de desarrollo y su duración en el cultivo de maíz para los años 2013, 2015 y 2016. Los números dentro de cada barra indican la duración de las fases en días.

Ha sido determinado que las condiciones más favorables para la obtención de rendimientos elevados en el cultivo de maíz se dan en climas con alta radiación solar y temperaturas elevadas, pero no extremadamente cálidos, con una prolongada estación de crecimiento y con temperaturas diurnas entre 20 y 28° C (Eyhérabide, 2015).

Las temperaturas medias, precipitaciones y radiación diaria en los años estudiados; en relación a sus respectivos estados de desarrollo (Gráficos 2, 3 y 4)

Año 2013:

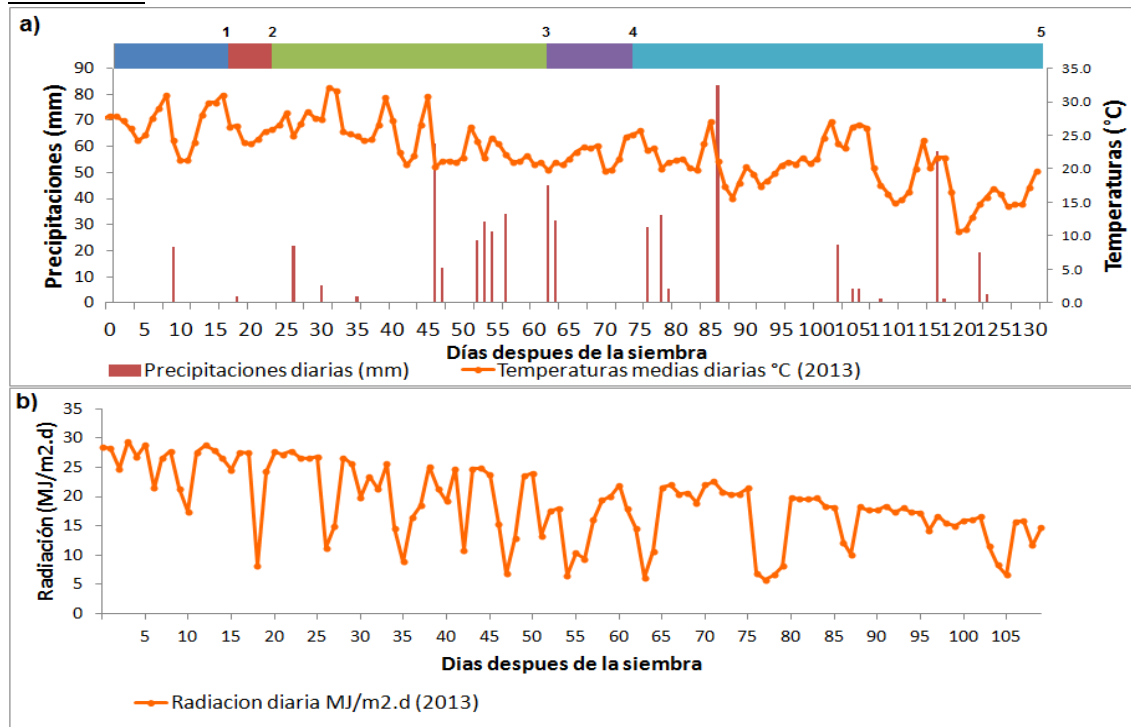


Gráfico 2: Variables climáticas en relación a la fenología del maíz; a) Precipitaciones y temperaturas medias b) Radiación diaria. Las barras indican las fases y los números sobre las mismas representan los estados de desarrollo para el año 2013

Año 2015:

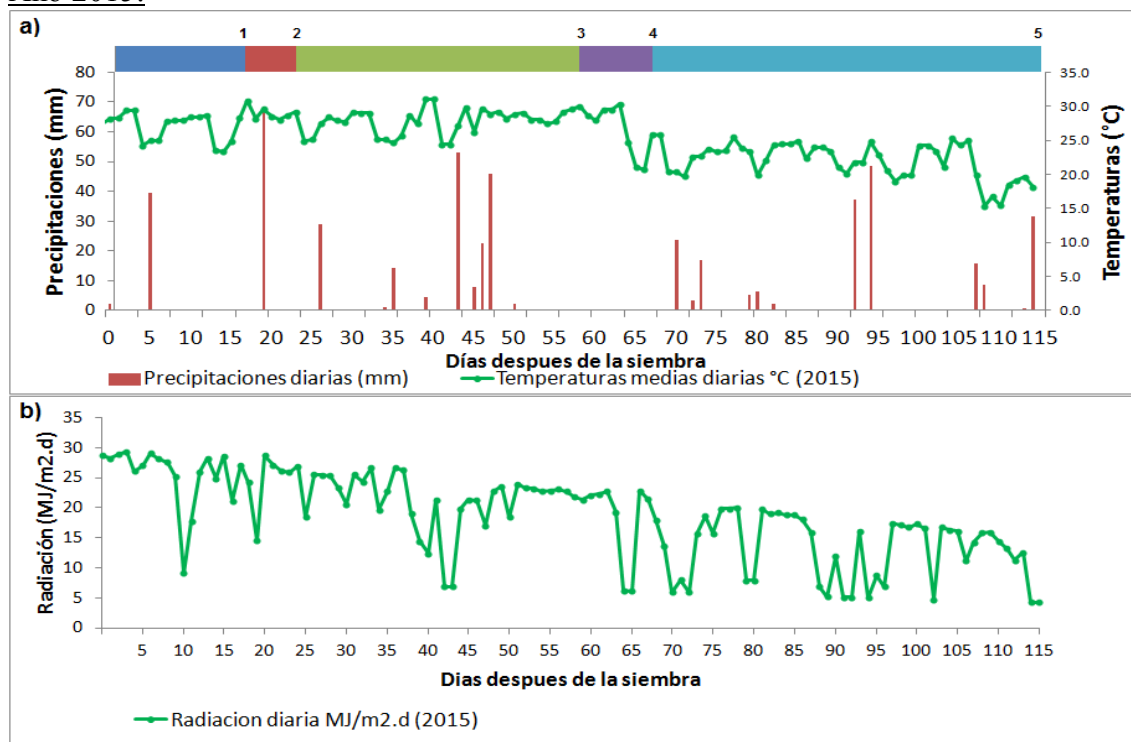


Gráfico 3: Variables climáticas en relación a la fenología del maíz; a) Precipitaciones y temperaturas medias b) Radiación diaria. Las barras indican las fases y los números sobre las mismas representan los estados de desarrollo para el año 2015.

Año 2016:

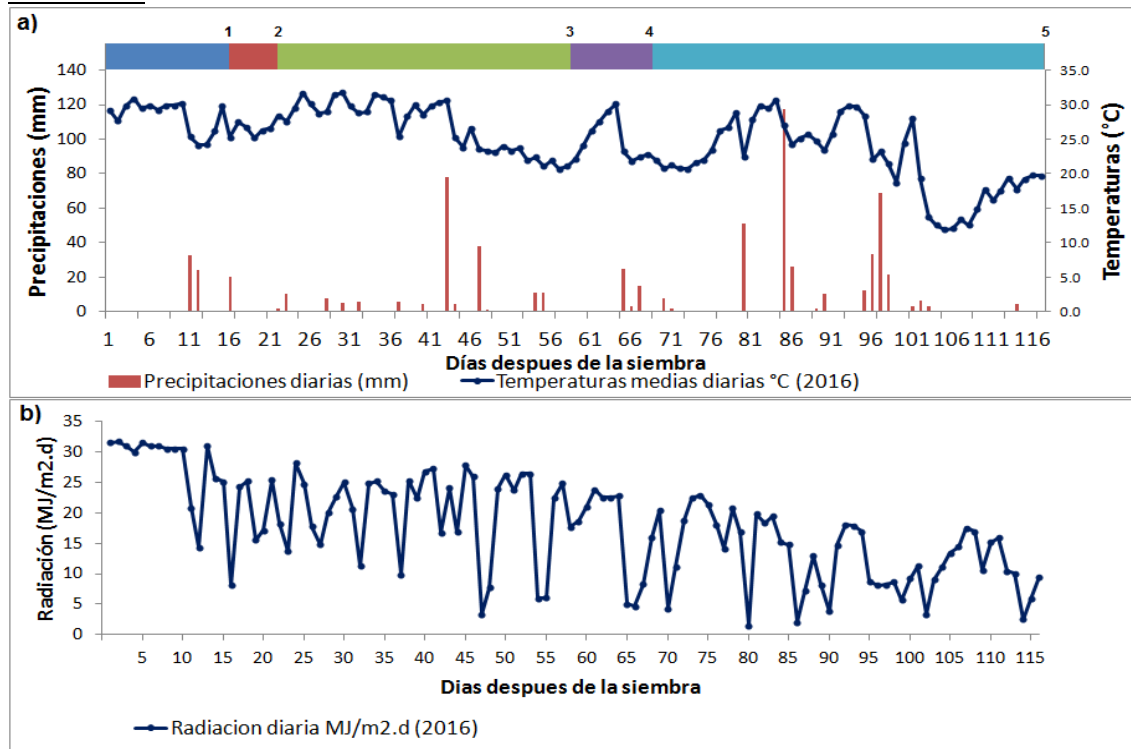


Gráfico 4: Variables climáticas en relación a la fenología del maíz; a) Precipitaciones y temperaturas medias b) Radiación diaria. Las barras indican las fases y los números sobre las mismas representan los estados de desarrollo para el año 2016.

Dentro de los factores climáticos determinantes de la producción vegetal, la temperatura es uno de los más importantes. Es común observar que en años «fríos» el desarrollo de las fases fenológicas de las plantas se atrasa mientras que en años «cálidos» se adelanta (Eyhérabide, 2015)

Para el análisis se dividió al ciclo del cultivo en dos periodos: uno comprendido entre siembra-inicio de llenado de grano y otro comprendido entre inicio-fin de llenado efectivo de granos.

Según Andrade y Sadras (2002), la duración del crecimiento y desarrollo de las fases de una planta depende fundamentalmente de la temperatura.

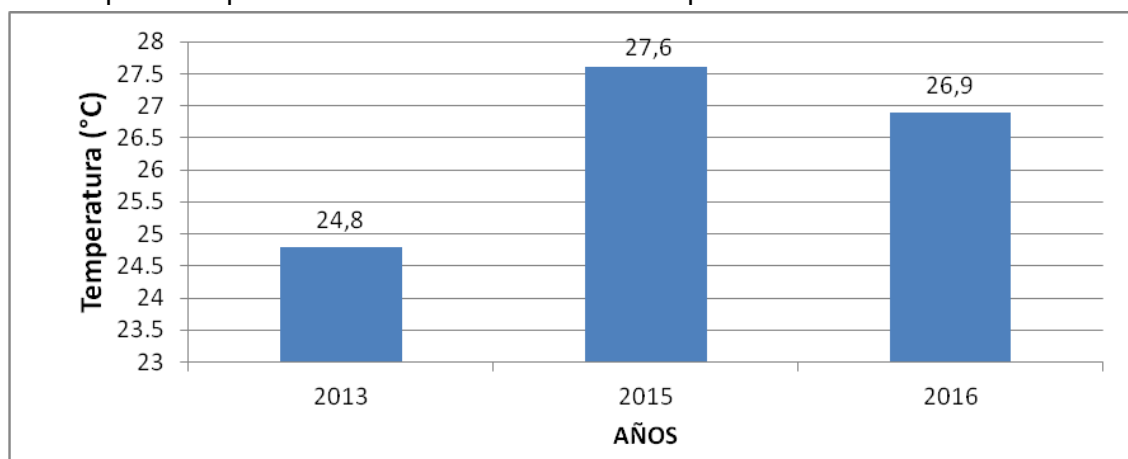


Gráfico 5: Temperatura media en el periodo siembra-inicio de llenado de granos

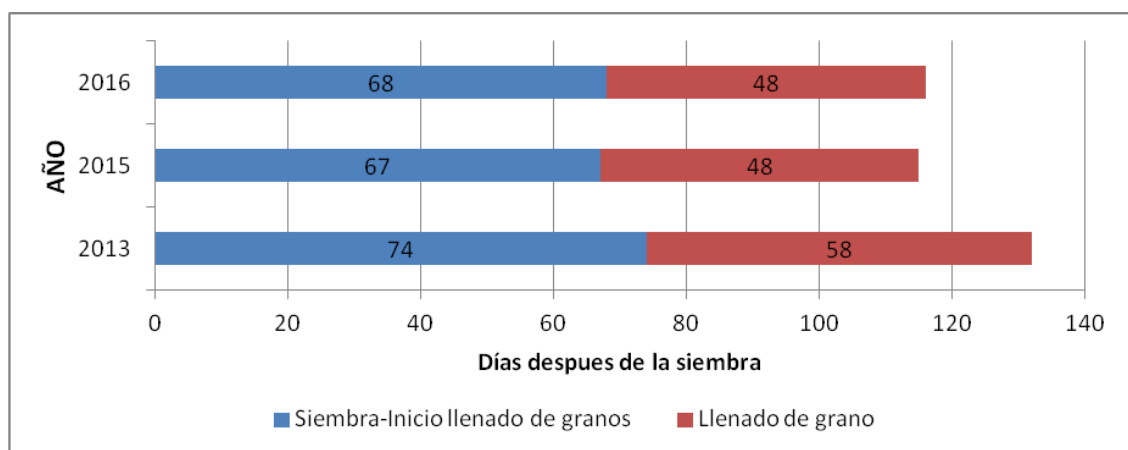


Gráfico 6: Periodo siembra-inicio de llenado de granos (azul) y llenado de granos (rojo). Los números dentro de las barras indican la duración en días.

Se puede observar en el Gráfico 5 las temperaturas medias comprendidas entre la siembra e inicio de llenado de granos para los años 2013, 2015 y 2016, estas fueron: 24,8 °C, 27,6 °C y 26,9 °C respectivamente. El Gráfico 6 muestra el tiempo transcurrido hasta inicio de llenado de granos para los mismos años, ellos fueron 74, 67 y 68 días respectivamente. Para el año 2015 dicho periodo fue menor (67 días) debido a que las temperaturas se presentaron más elevadas (27,6 °C) con respecto a los otros años, haciendo que la tasa de desarrollo del cultivo sea mayor y como consecuencia el inicio de llenado de granos ocurriera antes.

El periodo de llenado efectivo de granos se puede caracterizar por su duración y por la tasa de crecimiento del grano. La tasa y duración del periodo de llenado son afectadas por el ambiente (Andrade & Sadras, 2002).

Cuando se acumulan días con temperaturas máximas superiores a 28° C, el período de llenado de granos se acorta y por consiguiente el rendimiento disminuye (Eyhérabide, 2015).

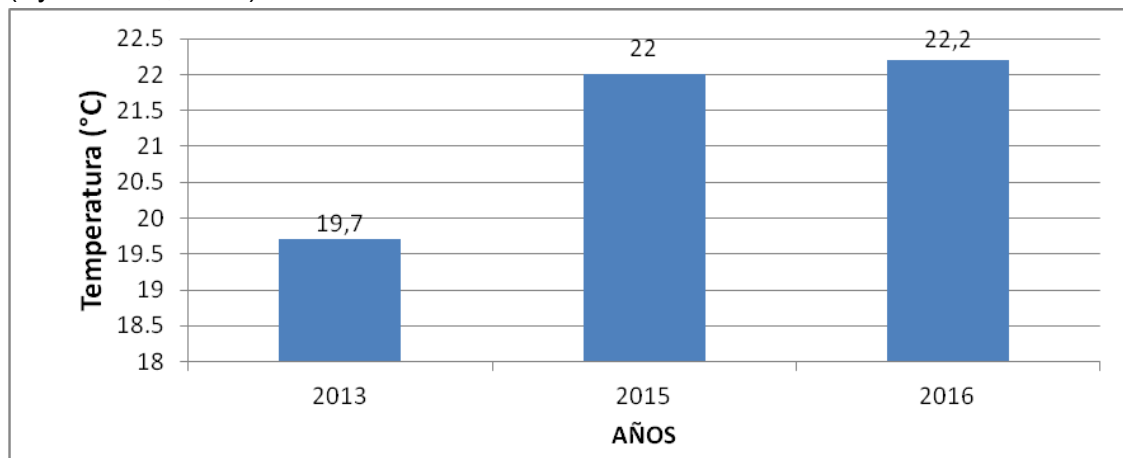


Gráfico 7: Temperatura media en el periodo de llenado de granos.

En el periodo de llenado efectivo de granos la temperatura media para los años 2013, 2015 y 2016 fueron: 19,7 °C, 22,0 °C y 22,2 °C respectivamente (Gráfico 7). Como se observa en el Gráfico 6, dicho periodo fue mayor para el año 2013 (58 días), menor para los años 2015 y 2016 (48 días para ambos) debido al efecto regulador de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo.

Para lograr altas producciones de biomasa en una estación del cultivo se necesita i) elevada radiación y temperaturas diurnas óptimas para el proceso fotosintético que posibilita altas tasas de crecimiento y ii) prolongadas duraciones de las etapas fenológicas. La duración del periodo de crecimiento es función inversa de la temperatura. En general, temperaturas hasta 25 a 30 °C aceleran el desarrollo del maíz. Por otro lado, altas temperaturas de día, de 30 °C en maíz favorecen la fotosíntesis y la tasa de crecimiento diaria.

La producción de biomasa por un cultivo puede ser expresada como el producto entre la cantidad de radiación incidente, la capacidad del cultivo para interceptar dicha radiación, y la eficiencia con la que el cultivo convierte la radiación en biomasa (Andrade & Sadras, 2002). El estudio de la oferta radiativa reveló que este factor del clima, debido a la magnitud presentada y a su poca variabilidad, no resulta limitante, si bien en algunos años los rendimientos potenciales del maíz no pueden expresarse debido a la ocurrencia de días nublados (Eyhérabide, 2015).

Como se aprecia en el siguiente gráfico, la radiación media para el periodo llenado de granos fue: 15,9 MJ/m².d, 14,8 MJ/m².d y 14,3 MJ/m².d (año 2013, 2015 y 2016 respectivamente).

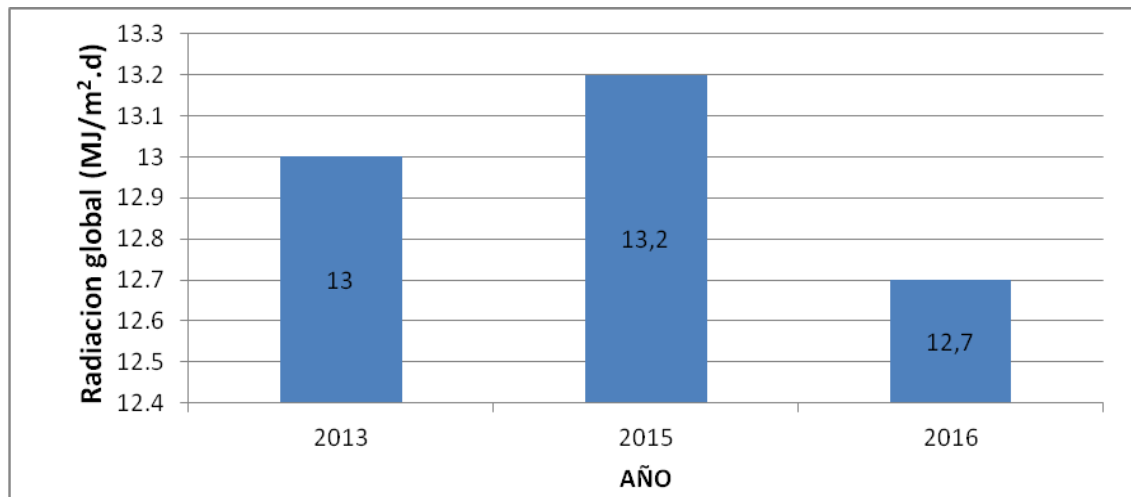


Gráfico 8: Radiación global promedio en el periodo llenado de granos para los años 2013, 2015 y 2016 (Cultivo: maíz)

A continuación, se muestra la simulación del crecimiento de granos del sistema DSSAT, en los años de estudio:

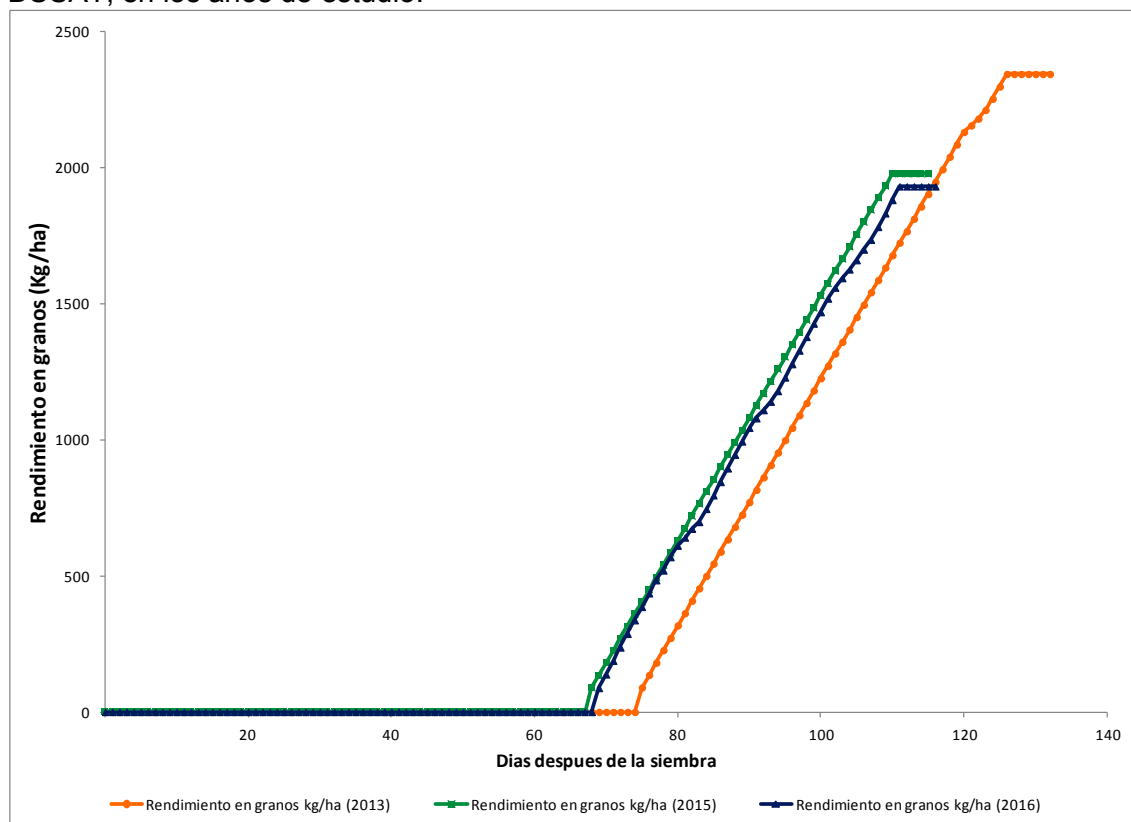


Gráfico 9: Rendimiento de granos (kg/ha) simulado por el sistema DSSAT.

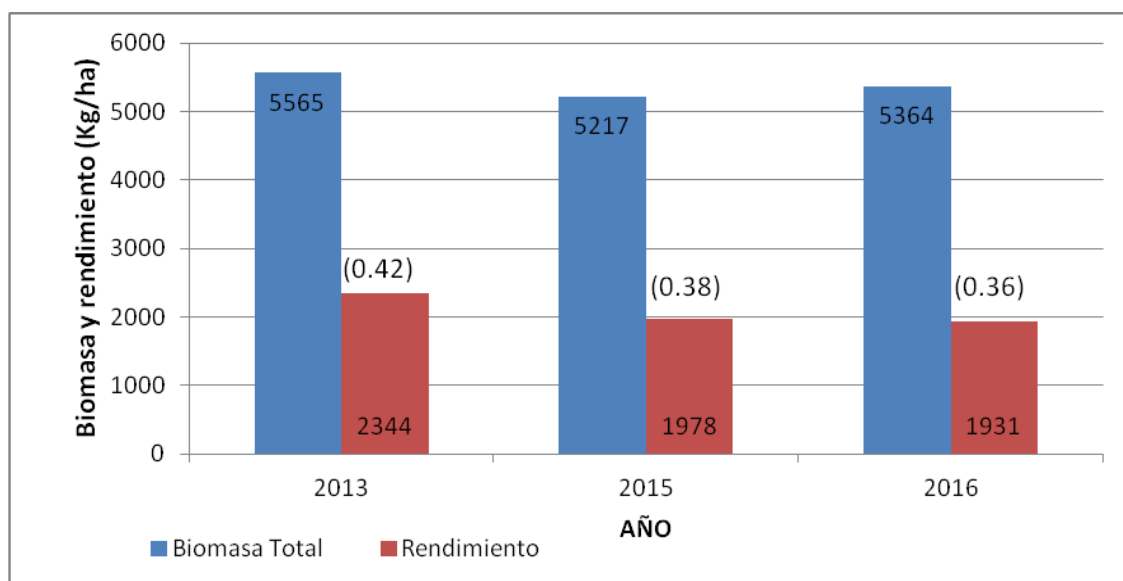


Gráfico 10: Rendimiento en granos (kg/ha), biomasa total (kg/ha) e índice de cosecha (entre paréntesis) para el cultivo de maíz en los años 2013, 2015 y 2016.

Con los datos obtenidos del DSSAT se graficó de forma tal de observar (Gráfico 10) que el rendimiento fue mayor para el año 2013 (2344 kg/ha) debido a que el periodo de llenado efectivo de granos también lo fue (58 días). Para el año 2015 (1978 kg/ha) el rendimiento fue mínimamente superior al 2016 (1931 kg/ha) siendo que el periodo de llenado efectivo de grano fue el mismo: 48 días para ambos. Esto se puede explicar en base a que los recursos (radiación, por ejemplo) fue algo mayor en el año 2015 (13,2 MJ/m².d) comparándolo con el año 2016 (12,7 MJ/m².d).

El cultivo de maíz debe ser manejado de forma tal que alcance en la etapa crítica de floración un estado fisiológico óptimo, es decir plena cobertura, alta tasa de crecimiento y alta partición a espiga. El cultivo debe estar sano, libre de malezas, bien provisto de agua y nutrientes y con densidades de planta adecuada. Se debe tratar de evitar la ocurrencia de deficiencias hídricas en esta etapa, ya sea a través del riego cuando es posible, o de la fecha de siembra, del ciclo del cultivar, de la densidad de plantas, del manejo del agua del suelo, etc. La disponibilidad de nutrientes no debe ser limitantes desde los momentos en que éstos son requeridos en altas cantidades (estado 6 hojas). Para obtener altos rendimientos, el cultivo debe mantenerse en buen estado durante el llenado de granos. No obstante, el estrés en este periodo tiene menos impacto sobre el rendimiento que durante la floración, aunque puede aumentar la incidencia del vuelco y del quebrado (Andrade & Sadras, 2002).

Los requerimientos de agua varían entre especies, entre cultivares, a lo largo de la estación de crecimiento y entre ambientes. Su conocimiento es útil para decidir prácticas de manejo que permitan lograr la mayor coincidencia entre la oferta natural de agua y la demanda del cultivo, así como para definir las necesidades de riego (Andrade & Sadras, 2002).

La evapotranspiración (ET) es el proceso por el cual el agua es transferida desde el suelo hacia la atmósfera, incluyendo evaporación desde la superficie del suelo o de la planta y transpiración a través de los tejidos. La ET puede expresarse como flujo de calor latente por unidad de área o su equivalente en lámina de agua por unidad de área (Burman *et al.*, 1983). La tasa de evapotranspiración de un cultivo está

influenciada por la radiación, la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento, variables meteorológicas que determinan la demanda evaporativa atmosférica y afectan la cantidad de agua que el cultivo puede absorber para diferentes condiciones de humedad edáfica, estado de crecimiento y cobertura vegetal (Gardner *et al.*, 1985).

La demanda evaporativa de la atmósfera denominada evapotranspiración potencial (ETP) o de referencia (ET_0), se puede representar por la tasa de ET de una superficie cubierta por una gramínea de altura baja (8 a 15 cm) y uniforme, en crecimiento activo, que cubre totalmente el suelo y que no tiene limitación de agua (Doorenbos & Pruitt, 1977). La ET real (ETR) es la cantidad de agua perdida hacia la atmósfera desde el suelo y desde las plantas, en determinadas condiciones meteorológicas, de disponibilidad de agua en el suelo y de crecimiento del cultivo (Hatfield, 1990). La ET de un cultivo libre de enfermedades, que se desarrolla en una superficie extensa, sin limitaciones de agua y nutrientes y que logra el rendimiento potencial, se denomina evapotranspiración máxima (ETM) y representa el requerimiento de agua de un cultivo (Hillel, 1990); es afectada tanto por las características del cultivo como por las del clima y suelo, por lo cual se debe medir para cada región y cultivo.

Las características del cultivo se pueden cuantificar con un coeficiente de cultivo (K_c) y las del clima por la ET_0 . Multiplicando ambos términos se puede obtener el requerimiento de agua del cultivo como ETM: $ET_0 \times K_c$ (Doorenbos & Pruitt, 1977). La cantidad de agua usada por un cultivo está relacionada con la producción de materia seca total (MS) y con el rendimiento. El cociente entre MS y la ET se denomina eficiencia de uso de agua (EUA) y se puede expresar como gMS/kg de agua o kgMS/ha*mm de agua. Se aplica tanto para materia seca total como para rendimiento. La recíproca de la EUA representa otra forma de expresar el requerimiento de agua como ET/MS en g de agua por g de MS o m³ de agua por kg de MS (Gardner *et al.*, 1985).

El Gráfico 11 muestra la evapotranspiración máxima acumulada en el ciclo del cultivo de maíz, para los años 2013, 2015 y 2016.

La ETM del cultivo, asciende en promedio a 650 mm, desde la siembra hasta la cosecha. Existe una relación estrecha entre el consumo de agua del maíz y la producción de grano. Por ello, el rendimiento potencial será alcanzado cuando el agua consumida por el cultivo (ETR: evapotranspiración real), sea próxima a aquella posible de consumir (ETM), según las características de la especie (densidad, altura, repartición de la superficie foliar y fisiología de la regulación estomática) y a la energía disponible (ETP: evapotranspiración potencial), cuando las condiciones hídricas y nutricionales no son limitantes (Eyhérabide, 2015).

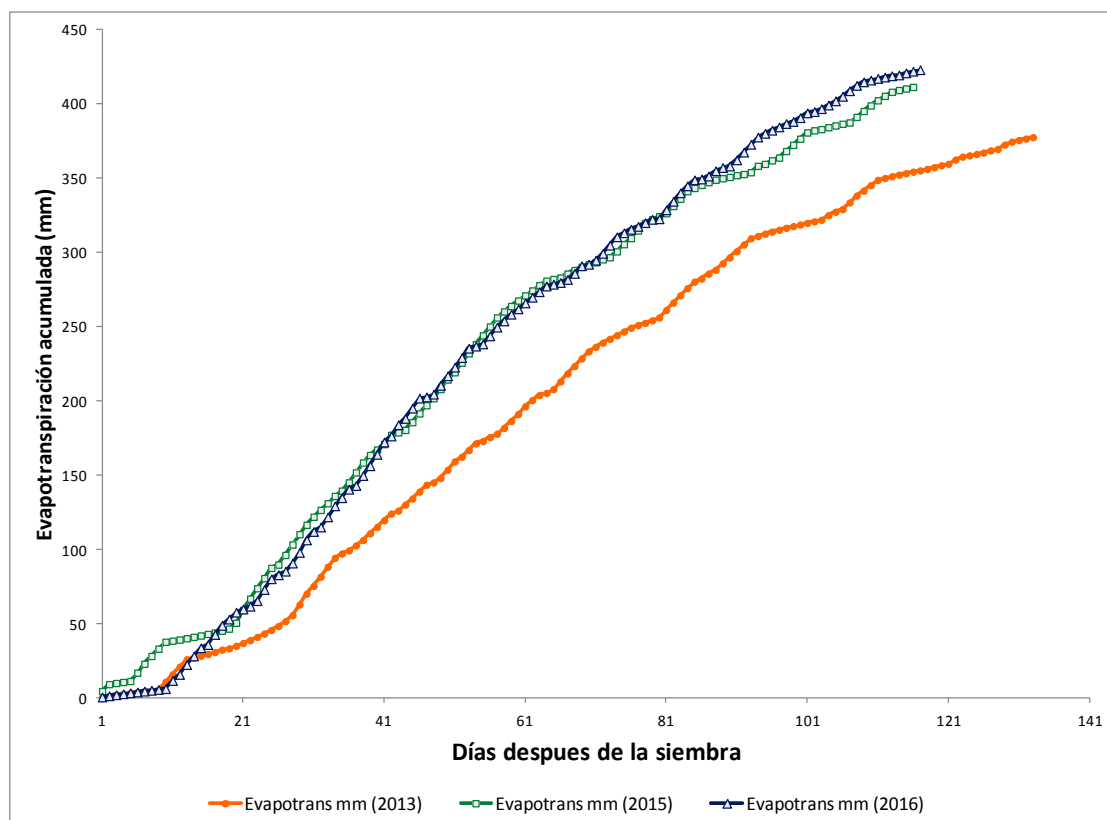


Gráfico 11: ETM comparada del cultivo de sorgo para los años 2013, 2015 y 2016. Simulado por el programa DSSAT, con el método Priestley-Taylor/Ritchie.

Considerando lo expuesto en párrafos anteriores, la evapotranspiración está influenciada por las condiciones ambientales. Se observa que para el año 2013 la ETM acumulada es menor en todo su ciclo, comparándolo con los años 2015 y 2016, debido a que las condiciones del ambiente fueron distintas. Por lo expuesto, la temperatura fue menor para el año 2013 y mayor en los años 2015 y 2016, resultando así que se observe diferencias en la evapotranspiración de cada año.

La evapotranspiración acumulada para todo el ciclo de maíz en los años 2013, 2015 y 2016 fueron: 377, 411 y 423 mm respectivamente. Comparando con la oferta ambiental (Gráfico 12) se puede apreciar que la demanda hídrica del cultivo está cubierta y no debió presentar estrés hídrico.

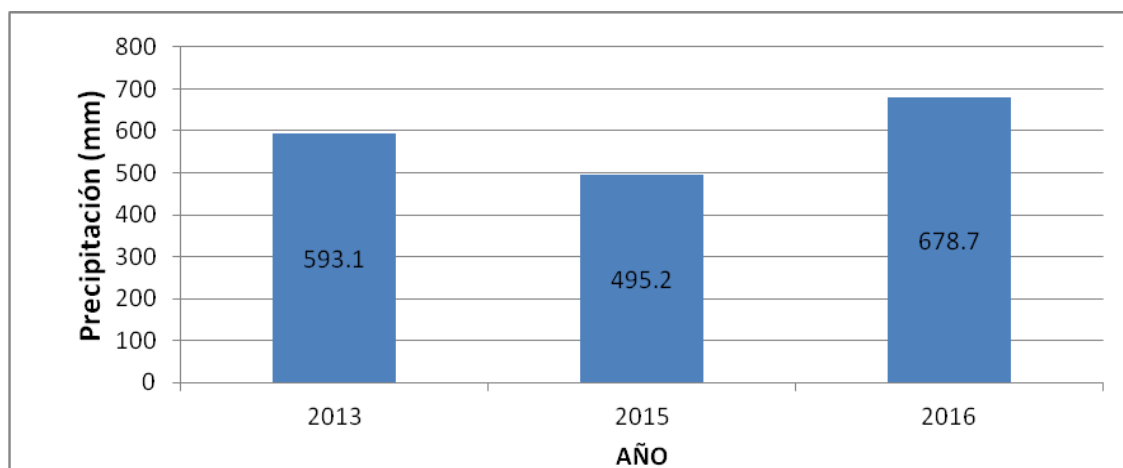


Gráfico 12: Precipitación acumulada en el ciclo del cultivo de maíz para los años 2013, 2015 y 2016.

Los requerimientos nutricionales para que los cultivos alcancen un óptimo crecimiento y altos rendimientos deben ser óptimos según necesidades de cada fase. Los nutrientes del suelo son generalmente limitantes para la productividad de los cultivos, de modo que el conocimiento de sus requerimientos y de sus dinámicas de acumulación es clave para acceder a altos rendimientos con un uso eficiente de insumos (Andrade & Sadras, 2002).

La buena disponibilidad nutricional, especialmente desde los momentos en que los nutrientes son requeridos en altas cantidades (aproximadamente 25 días después de emergencia para N) aseguran i) un buen crecimiento foliar que posibilita al cultivo alcanzar rápidamente cobertura total y mantenerla y ii) una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa durante el ciclo (Andrade & Sadras, 2002).

A continuación, se muestran simulaciones del factor de estrés por nitrógeno generado por el sistema DSSAT, para los años 2013, 2015 y 2016 sin fertilización y con una fertilización de 100 kg de urea. El factor de estrés va de 0 a 1, correspondiendo el número 0 sin estrés y el número 1 a estrés máximo.

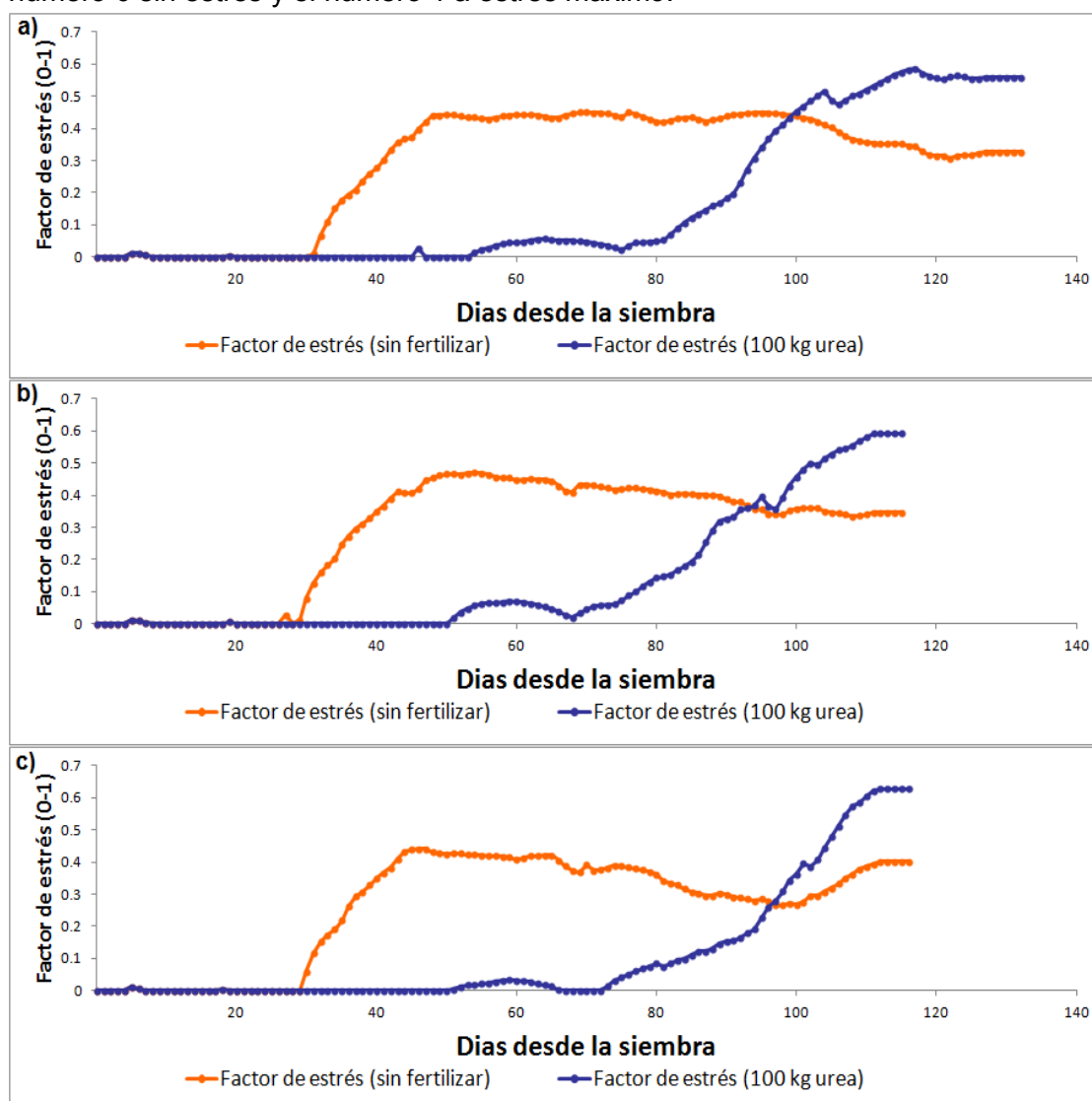


Gráfico 13: Factor de estrés por Nitrógeno simulado por el sistema DSSAT. Año: a) 2013 b) 2015 c) 2016

Como se dijo en párrafos anteriores, el nitrógeno es requerido en altas cantidades 25 días después de emergencia, se aprecia en los gráficos que a partir de allí comienza a verse estrés debido a que la demanda nutricional va en incremento, y este incremento no es acompañado por la oferta de nitrógeno del suelo. Se mencionó en la sección “Salida de datos del sistema DSSAT”, la cantidad de nitrógeno suministrada por el suelo, este suministro es de 21,4 kg/ha de nitrato y 2,5 kg/ha de amonio. Claramente no es una cantidad óptima para el crecimiento normal del cultivo, reduciendo la expansión foliar y la fotosíntesis, haciendo que disminuya la interceptación de la radiación y la eficiencia de conversión de radiación interceptada traduciéndose en un menor rendimiento por hectárea (Andrade & Sadras, 2002). Se observa que al incorporar fertilizante nitrogenado (100 kg/ha de urea) al sistema, el estrés por nitrógeno se redujo en los tres años de estudio.

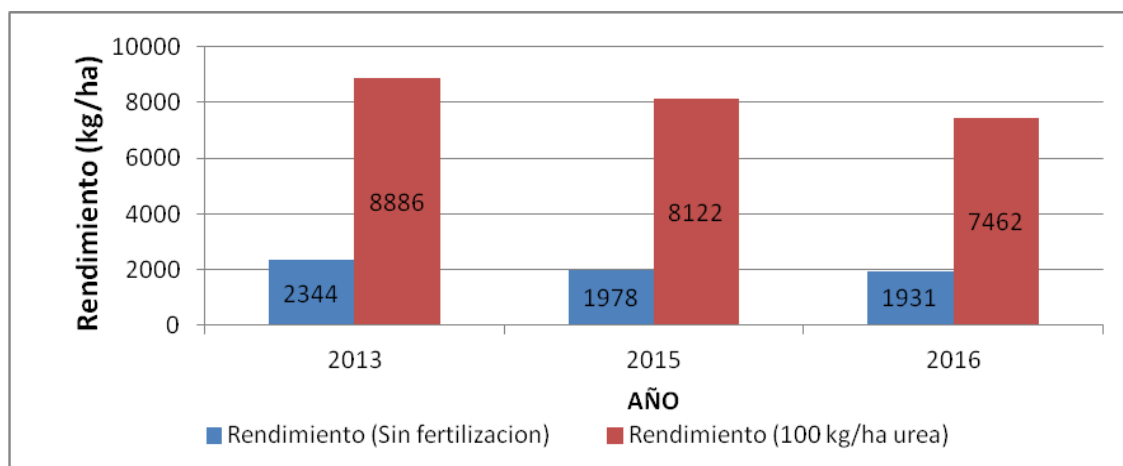


Gráfico 14: Rendimiento de grano, sin fertilización (azul) y con una fertilización de 100 kg de urea (rojo). Datos obtenidos de la simulación del sistema DSSAT.

El Gráfico 14 muestra la comparación de rendimiento en dos escenarios: uno sin aporte de fertilizante nitrogenado y otro con un aporte de 100 kg/ha de urea, para los años 2013, 2015 y 2016. Para los 3 años los rendimientos de granos fueron superiores cuando se agregó nitrógeno al sistema. Con esto se quiere demostrar que la limitante en el sistema productivo principalmente está en la disponibilidad de nutrientes del suelo, y no así en las condiciones meteorológicas del lugar.

2. *Sorghum* spp. (Sorgo):

Al inicio del cultivo la temperatura base de 11°C es un factor altamente condicionante. También influye la temperatura del suelo a 5 cm que no debe ser menor a 15 °C. Durante la etapa reproductiva se debe prestar especial cuidado en no provocar situaciones de estrés (radiación, humedad, nutrición y temperatura mayores a 15°C) (Batalla *et al.*, 2012)

Se presenta, al igual que en el cultivo de maíz, el gráfico de barras, en el cual, esquematiza las fases de desarrollo del cultivo de sorgo, y respectiva duración en los años de estudio.

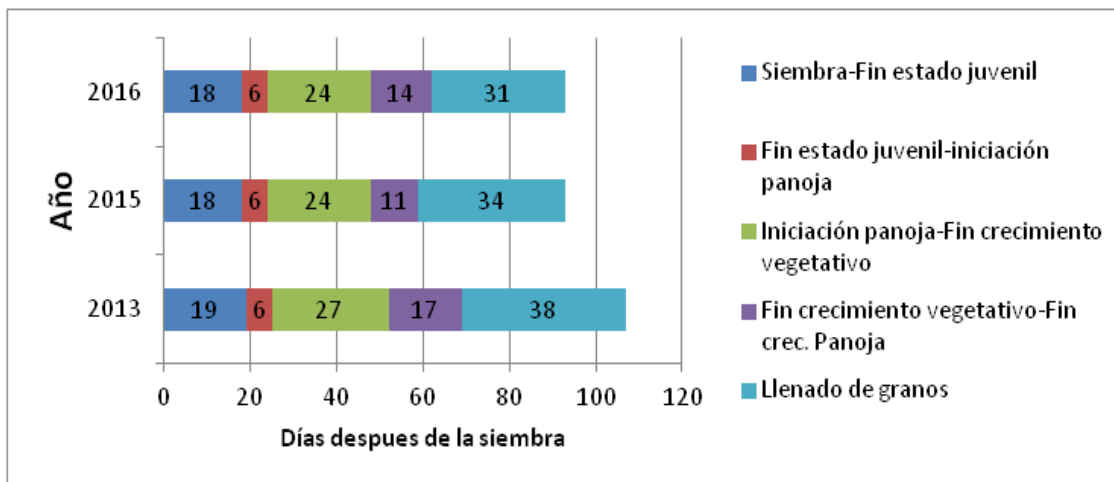


Gráfico 15: Etapas de desarrollo y su duración en el cultivo de sorgo para los años 2013, 2015 y 2016. Los números dentro de cada barra indican la duración de las fases en días.

Las temperaturas medias, precipitaciones y radiación diaria en los años estudiados; en relación a sus respectivos estados de desarrollo (Gráficos 16, 17 y 18)

Año 2013:

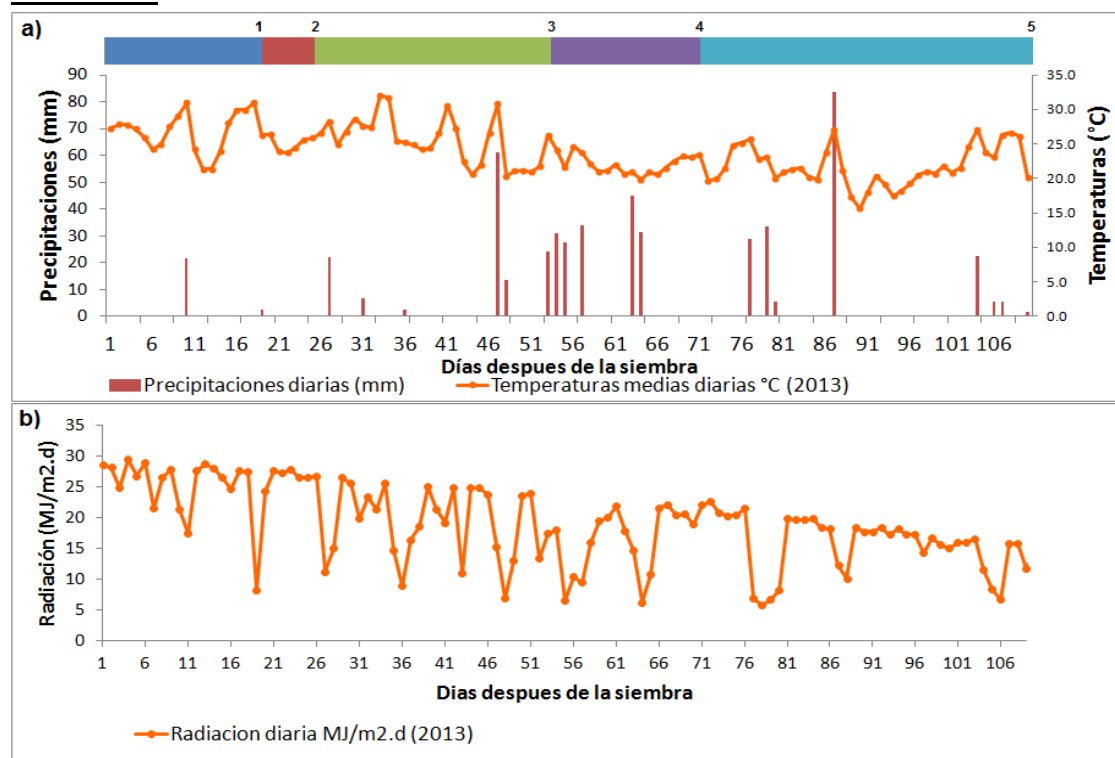


Gráfico 16: Variables climáticas en relación a la fenología del sorgo; a) Precipitaciones y temperaturas medias b) Radiación diaria. Las barras indican las fases y los números sobre las mismas representan los estados de desarrollo para el año 2013

Año 2015:

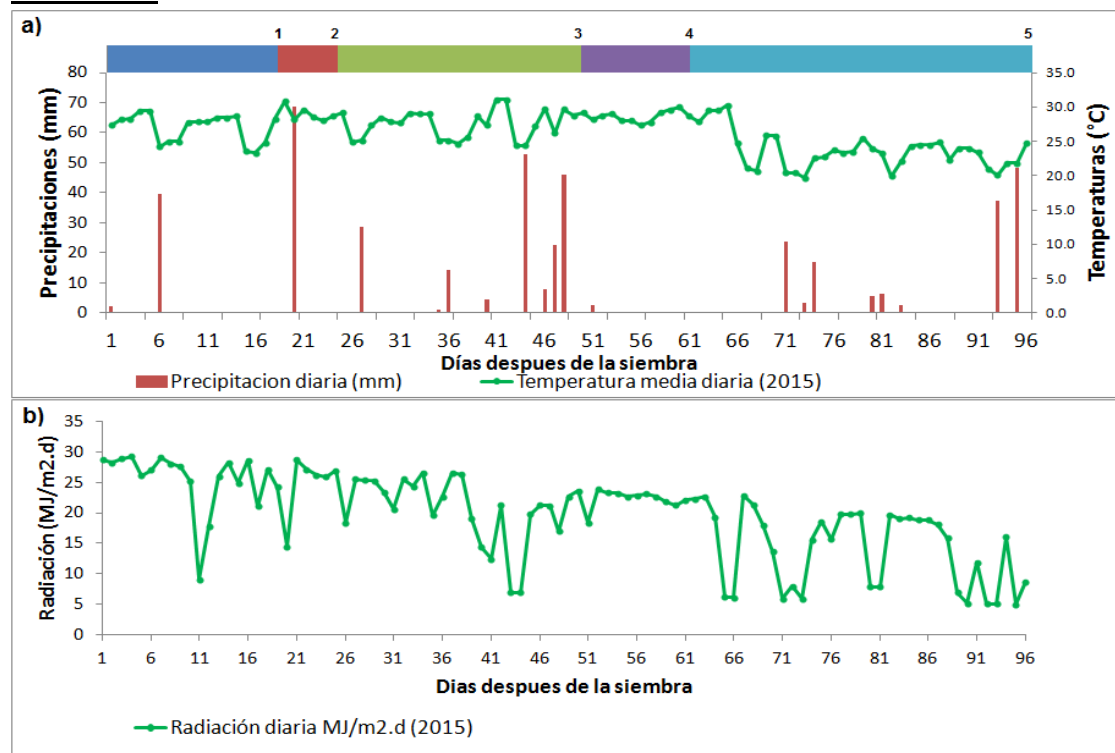


Gráfico 17: Variables climáticas en relación a la fenología del sorgo; a) Precipitaciones y temperaturas medias b) Radiación diaria. Las barras indican las fases y los números sobre las mismas representan los estados de desarrollo para el año 2015

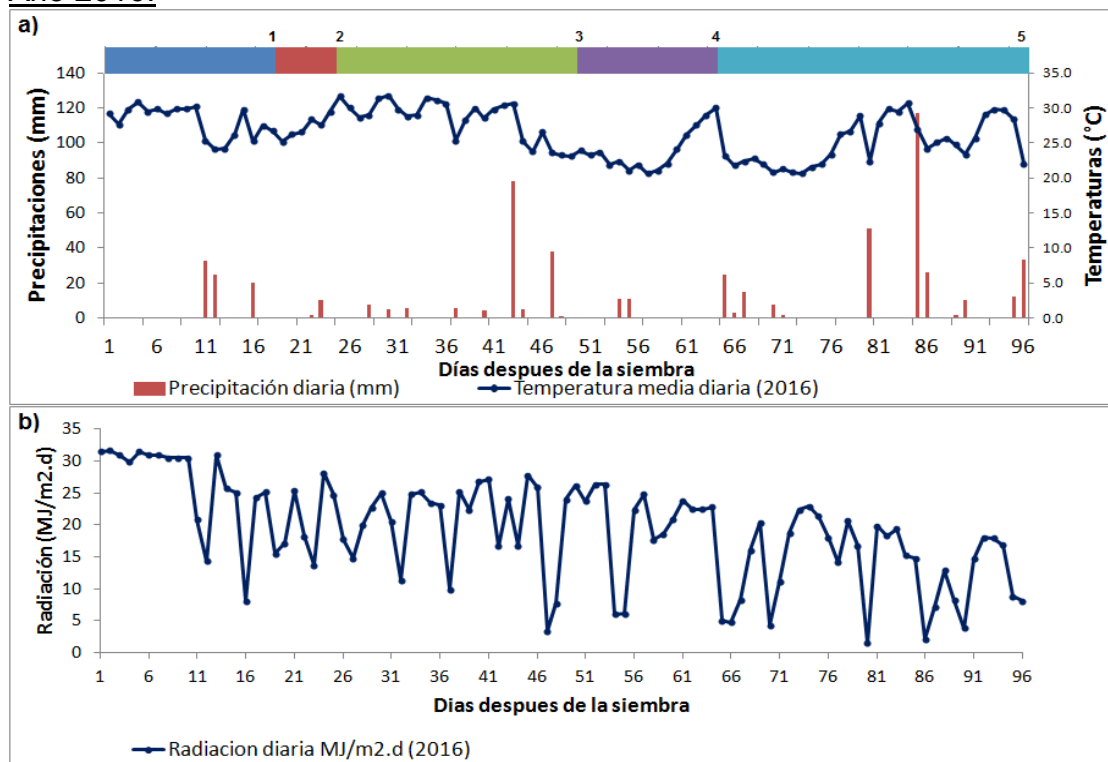
Año 2016:

Gráfico 18: Variables climáticas en relación a la fenología del sorgo; a) Precipitaciones y temperaturas medias b) Radiación diaria. Las barras indican las fases y los números sobre las mismas representan los estados de desarrollo para el año 2016

Para el análisis se dividió al ciclo del cultivo en dos periodos: uno comprendido entre siembra-fin del crecimiento de la panoja y otro comprendido entre inicio-fin de llenado efectivo de granos.

Desde la siembra a fin del crecimiento de la panoja, según Andrade y Sadras (2002), la duración del crecimiento y desarrollo de las fases de una planta depende fundamentalmente de la temperatura.

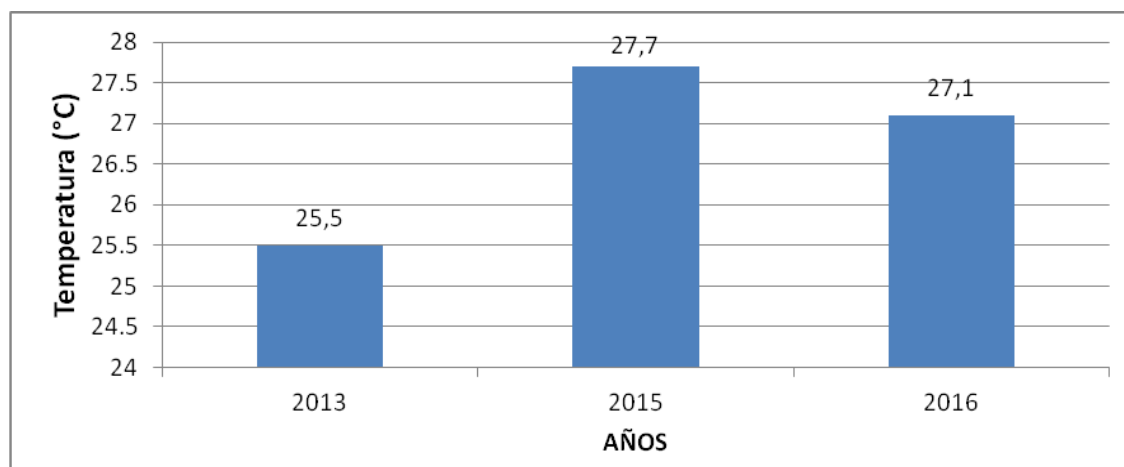


Gráfico 19: Temperatura media en el periodo siembra-fin de crecimiento de la panoja.

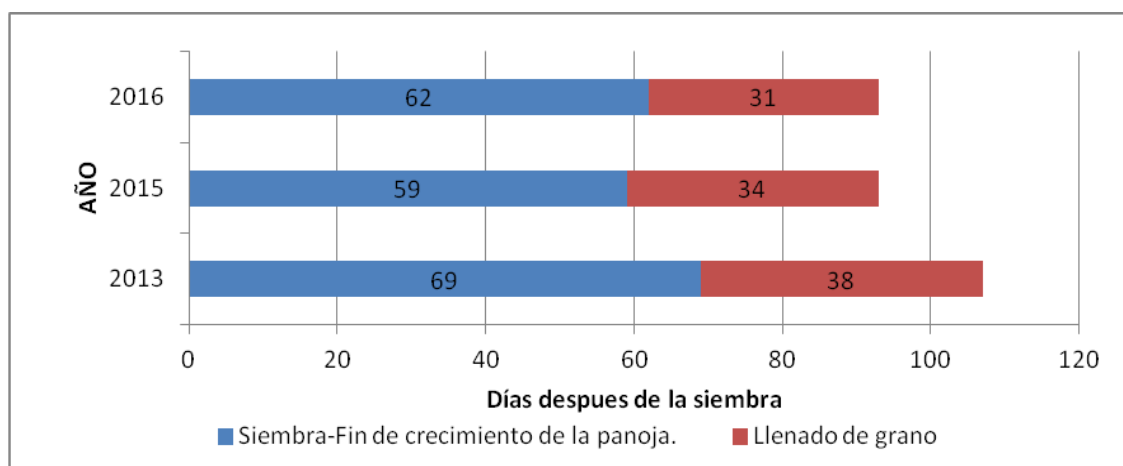


Gráfico 20: Periodo siembra-Fin de crecimiento de la panoja (azul) y llenado de granos (rojo). Los números dentro de las barras indican la duración en días.

Se puede observar en el Gráfico 19 las temperaturas medias comprendidas entre la siembra y fin del crecimiento de la panoja para los años 2013, 2015 y 2016, estas fueron: 25,5 °C, 27,7 °C y 27,1 °C respectivamente. El Gráfico 20 muestra el tiempo transcurrido hasta fin del crecimiento de la panoja (según la acumulación térmica) para los mismos años, ellos fueron 69, 59 y 62 días respectivamente. Para el año 2015 dicho periodo fue menor (59 días) debido a que las temperaturas se presentaron más elevadas (27,7 °C) con respecto a los otros años, haciendo que la tasa de desarrollo del cultivo sea mayor y como consecuencia el fin del crecimiento de la panoja se de antes.

El periodo de llenado efectivo de granos se puede caracterizar por su duración y por la tasa de crecimiento del grano. Éstos, para el periodo de llenado son afectadas por el ambiente (Andrade & Sadras, 2002).

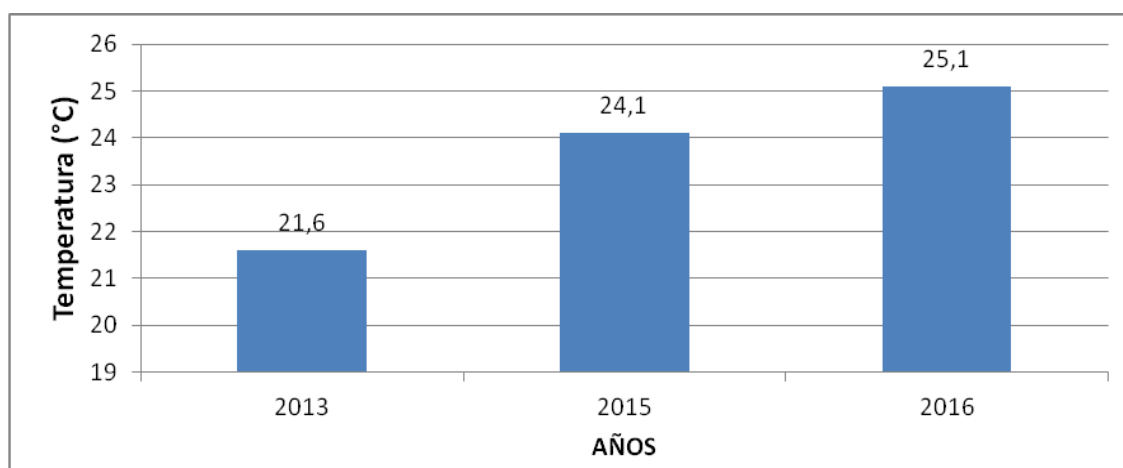


Gráfico 21: Temperatura media en el periodo de llenado de granos.

En el periodo de llenado efectivo de granos la temperatura media para los años 2013, 2015 y 2016 fueron: 21,6 °C, 24,1 °C y 25,1 °C respectivamente (Gráfico 21). Como se observa en el Gráfico 22, dicho periodo fue mayor para el año 2013 (38 días), menor para el año 2015 (34 días); y menor aun para el año 2016 (31 días) debido al efecto regulador de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo.

Como se aprecia en el siguiente gráfico, la radiación media para el periodo llenado de granos fue: 15,9 MJ/m².d, 14,8 MJ/m².d y 14,3 MJ/m².d (año 2013, 2015 y 2016 respectivamente).

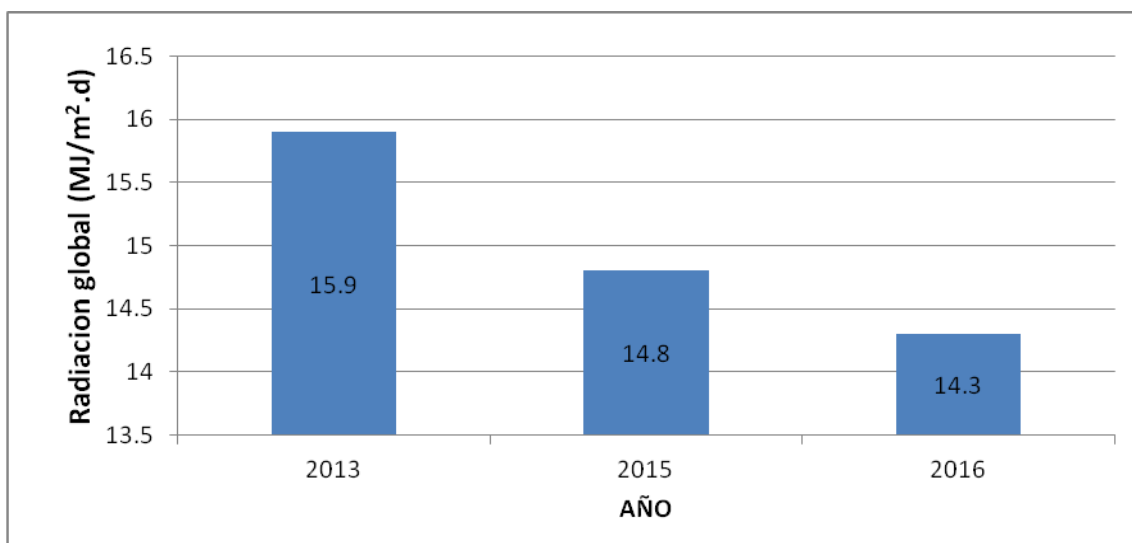


Gráfico 22: Radiación global promedio en el periodo llenado de granos para los años 2013, 2015 y 2016 (Cultivo: sorgo)

A continuación, se muestra la simulación del crecimiento de granos del sistema DSSAT, en los años de estudio:

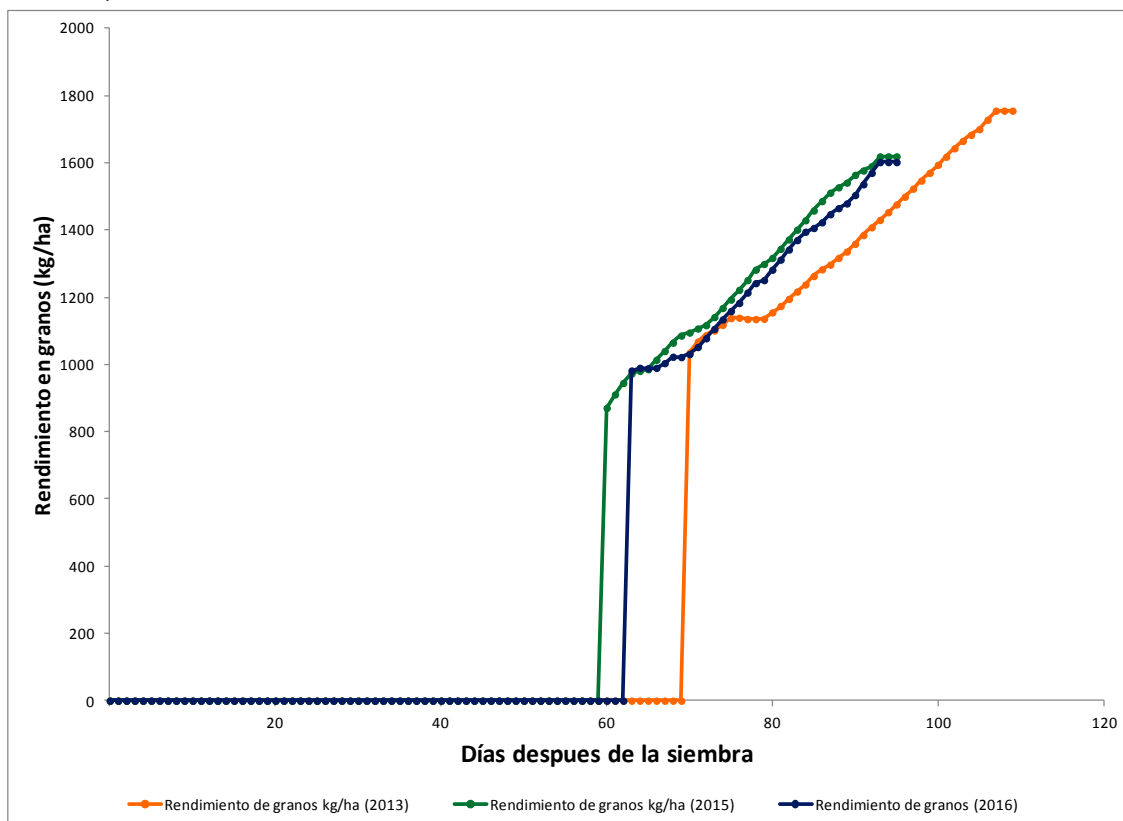


Gráfico 23: Rendimiento de granos (Kg/ha) simulado por el sistema DSSAT.

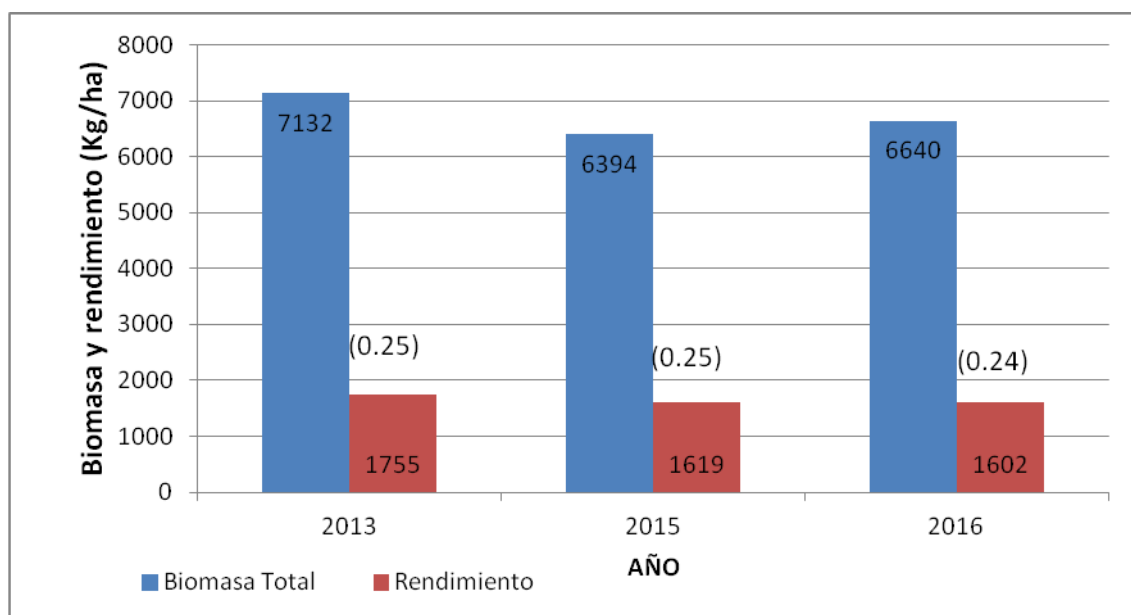


Gráfico 24: Rendimiento de granos (kg/ha), biomasa total (kg/ha) e índice de cosecha (entre paréntesis) para el cultivo de sorgo en los años 2013, 2015 y 2016.

En el Gráfico 24 se observa que el rendimiento simulado, debió haber sido mayor para el año 2013 (1755 kg/ha) comparandolo con los años 2015 (1619 kg/ha) y 2016 (1602 kg/ha) debido a que hubo un mayor tiempo de llenado efectivo de granos (gráfico 20) y una mayor disponibilidad de recursos, entre ellos radiación (15,9 MJ/m².d para el año 2013, Gráfico 22).

Para este cultivo está determinada la etapa crítica comenzando unos 20 días previos a la antesis y finalizando unos 10 días después. Cualquier condición de estrés que reduzca la captación de recursos durante este periodo disminuirá significativamente el rendimiento del cultivo. Los 20 días previos a la antesis son los más críticos y coinciden con el crecimiento rápido de la panoja y la determinación del número de flores fértiles. Condiciones favorables de radiación, humedad, nutrición y temperatura (no menores a 15 °C) aseguran un adecuado crecimiento de las panojas y desarrollo de las flores. Los 10 días posteriores a la antesis también son críticos y coinciden con el cuajado de las flores fecundadas y la determinación del peso potencial del grano (Batalla *et al.*, 2012).

En cuanto a los requerimientos hídricos en el Gráfico 25 se muestra la evapotranspiración máxima acumulada en el ciclo del cultivo de sorgo, para los años 2013, 2014 y 2015.

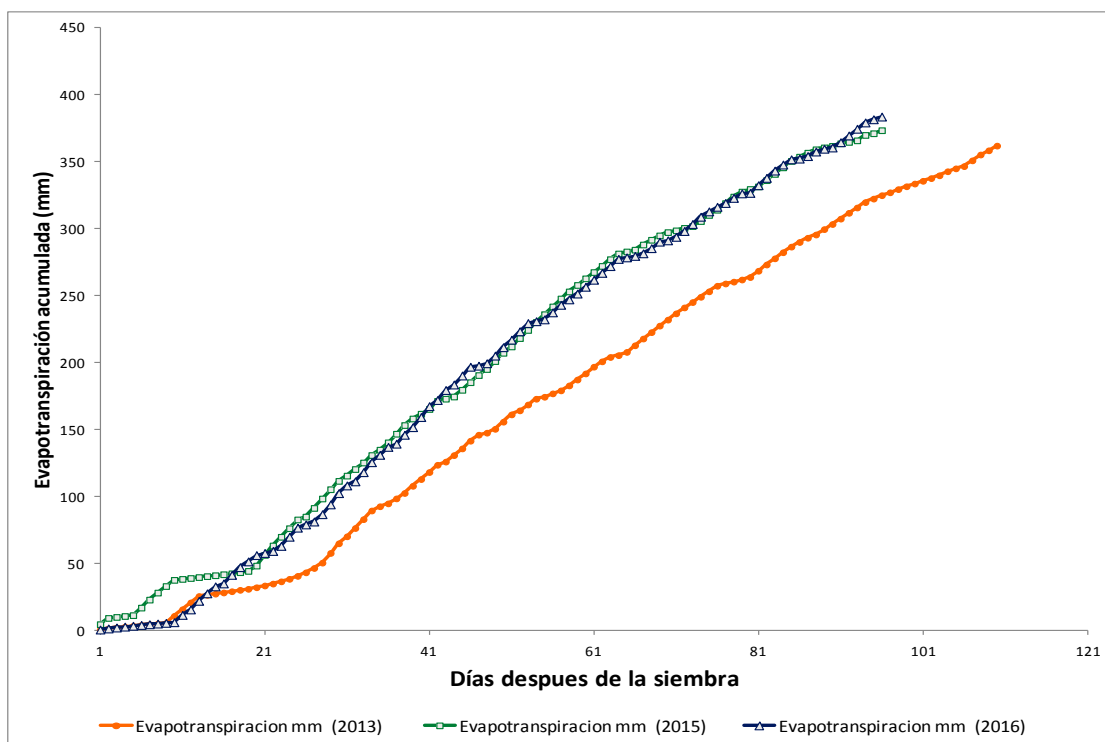


Gráfico 25: ETM comparada del cultivo de sorgo para los años 2013, 2015 y 2016. Simulado por el programa DSSAT, con el método Priestley-Taylor/Ritchie.

La evapotranspiración acumulada, para todo el ciclo de sorgo en los años 2013, 2015 y 2016 fueron: 362, 373 y 383 mm, respectivamente. Comparando con la oferta ambiental (Gráfico 26) se puede apreciar que la demanda hídrica del cultivo está cubierta y no debería presentar estrés hídrico.

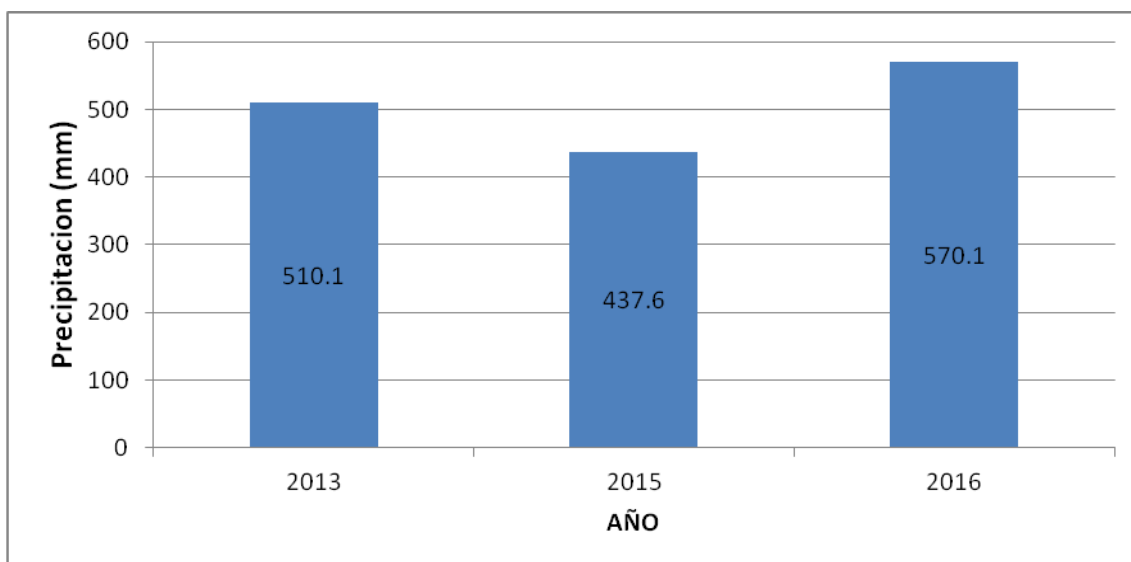


Gráfico 26: Precipitación acumulada en el ciclo del cultivo de sorgo para los años 2013, 2015 y 2016.

En cuanto a los requerimientos nutricionales, a continuación se muestran el factor de estrés por nitrógeno generado por el sistema DSSAT, para los años 2013, 2015 y 2016 sin fertilización y con una fertilización de 100 kg de urea. El mismo va de 0 a 1, correspondiendo el número 0 “sin estrés” y el número 1 “estrés máximo”.

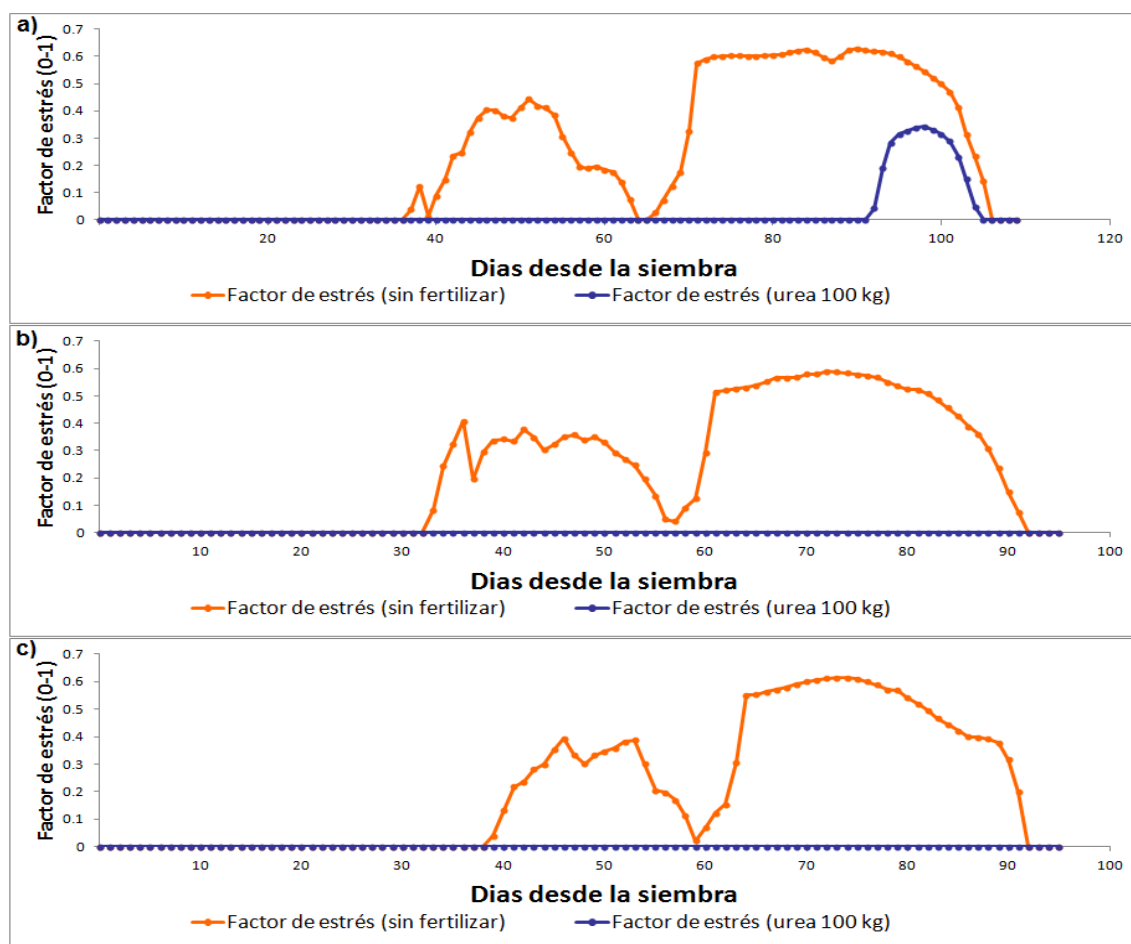


Gráfico 27: Factor de estrés por Nitrógeno simulado por el sistema DSSAT. Año: a) 2013 b) 2015 c) 2016.

En la simulación de sorgo, al igual que en maíz, el estrés comenzó a evidenciarse aproximadamente 25 a 30 días después de emergencia (Gráfico 27). Se observa que al incorporar fertilizante nitrogenado (100 kg/ha de urea) al sistema, el estrés por nitrógeno se redujo en el año 2013 y para los años 2015 y 2016 no hubo estrés.

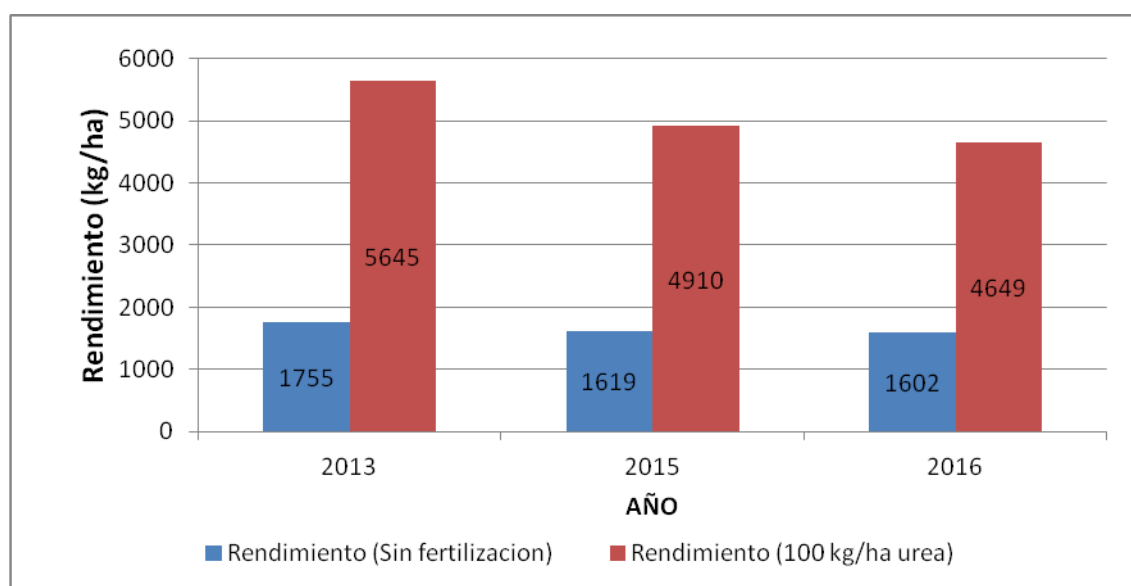


Gráfico 28: Rendimiento de grano, sin fertilización (azul) y con una fertilización de 100 kg de urea (rojo). Datos obtenidos de la simulación del sistema DSSAT.

El Gráfico 28 muestra la comparación de rendimiento en dos escenarios: uno sin aporte de fertilizante nitrogenado y otro con un aporte de 100 kg/ha de urea, para los años 2013, 2015 y 2016. Para los 3 años los rendimientos de granos fueron superiores cuando se agregó nitrógeno al sistema. Con esto se quiere demostrar que, para el cultivo de sorgo en las condiciones simuladas para la localidad de Empedrado, la limitante en el sistema productivo principalmente está en la disponibilidad de nutrientes del suelo, y no así en las condiciones meteorológicas del lugar.

3. Citrus sp. (Cítricos)

Para los frutales no se pudo utilizar el DSSAT en “simulación de rendimientos” ya que recién en el 2016 están trabajando los creadores del modelo en ajustar los parámetros para lograr las simulaciones de rendimiento (comunicación interna de base de datos “Usuarios DSSAT”).

En el Gráfico 29 se encuentra las diferentes etapas o fases de desarrollo de los cítricos. La inducción floral (IF) comienza alrededor de abril, mayo y junio, cuando las temperaturas comienzan a caer y la lluvia, a disminuir. Durante este período, los brotes vegetativos se convierten en brotes reproductivos. A partir de ahí, las plantas entran en una fase de reposo vegetativo (RV), condicionadas en este caso, por el déficit de agua, lo que resulta en la acumulación de reservas. Después de este período de estrés hídrico, que dura de dos a cuatro meses, las temperaturas vuelven a subir y comienza la temporada de lluvias, entre finales de invierno y principios de la primavera, lo que hace que las condiciones sean propicias para una intensa floración (F), seguido por el periodo de crecimiento de la fruta, que se divide en cuatro fases: la división celular (DVC), la diferenciación celular (DFC) expansión celular (EC) y maduración (M), después de lo cual el fruto se encuentra en el punto de la cosecha (PC) indicado generalmente por el índice de madurez (IM), que expresa la relación entre el total de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) y ácidos. Los siguientes son algunos detalles sobre cada una de estas fases fenológicas de cítricos (Sentelhas, 2005)

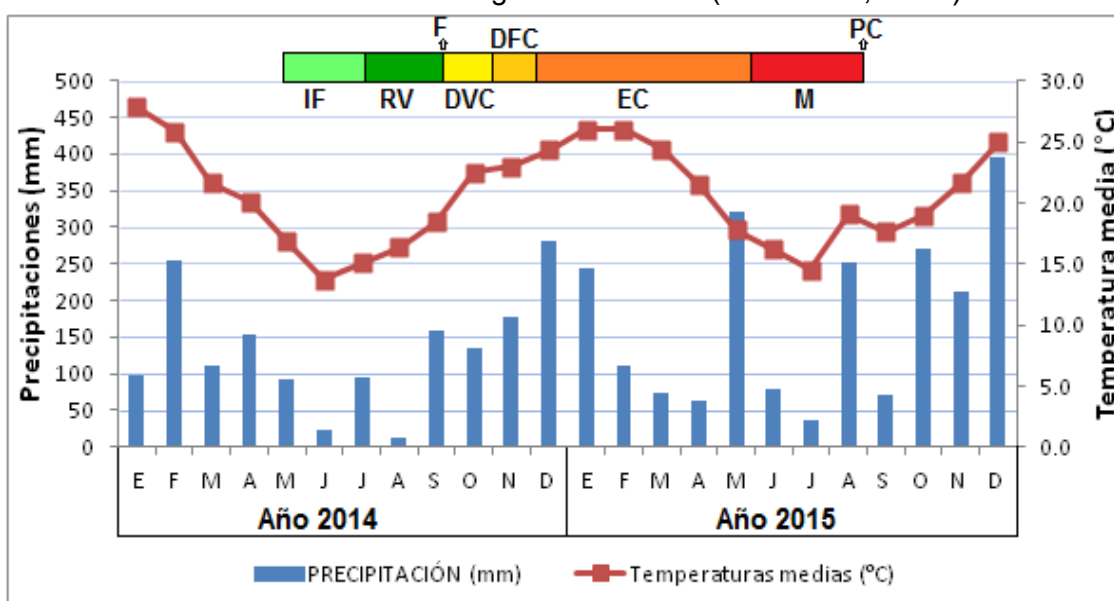


Gráfico 29: Representación esquemática de las fases fenológicas de los cítricos, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas de las regiones productoras de Monte Caseros (años 2014 y 2015). (IF = inducción floral; RV = reposo vegetativo; F = floración; DVC = división celular; DFC = diferenciación celular; EC = expansión de células; M = madurez; PC = punto de cosecha)

La inducción floral de los cítricos es el resultado de los estímulos ambientales que normalmente están vinculados a la reducción del crecimiento de las plantas. En general, estos estímulos son proporcionados por temperaturas más bajas, incluso si no caen por debajo de 12,5 ° C, en las regiones subtropicales, o por condiciones de sequía en las tropicales (Davies & Albrigo, 1994). A pesar de esta evidencia, en regiones tropicales sin períodos de estrés hídrico y térmico, los cítricos producen pequeñas floraciones, lo que sugiere que la inducción floral no sólo está relacionada con la temperatura y el estado de reposo vegetativo, sino también con los factores internos cíclicos, tales como el equilibrio hormonal y nutricional, entre otros. (Reuther, 1973, 1977). Sin embargo, los períodos de bajas temperaturas y/o baja disponibilidad de agua en el suelo, condicionarán la inducción floral y floración concentrada en cierta época del año, por lo general entre el invierno y la primavera.

Las temperaturas inferiores a 25°C durante varias semanas o períodos de sequía mayores a 30 días normalmente suelen ser necesarios para inducir un número significativo de botones florales (Inoue, 1990; Davies & Albrigo, 1994), siendo que cuando más largo es el período y la gravedad del estrés ambiental, mayor es el grado de inducción (Southwick & Davenport, 1986).

El período entre la inducción floral y antesis se relaciona con la acumulación de calor, es decir, con los grados días necesario para que los botones florales estén aptos para abrirse (Lovatt *et al.*, 1984). Así, la antesis sólo se produce después de que la necesidad de grado días se hayan alcanzado y cuando haya agua disponible en el suelo. Esto se traduce en una variación considerable en el período entre la inducción floral y antesis, tanto entre los diferentes años de producción y entre las diferentes regiones productoras (Davies & Albrigo, 1994). Moss (1969), estudiando la influencia de la temperatura sobre la floración de los cítricos, observó que el tiempo entre la inducción y la antesis floral progresivamente aumenta con la disminución de la temperatura del aire en este período; Se observó también que la floración fue mucho más intensa en los tratamientos con temperaturas más bajas.

Los huertos de cítricos cultivados en regiones tropicales, con una estación seca, y subtropical, con invierno relativamente rigurosos, están sujetos a entrar en reposo vegetativo. Este período se caracteriza por una reducción en la tasa de crecimiento o incluso por su paralización, debido a la reducción en la tasa metabólica de las plantas, variando su duración de acuerdo con las condiciones ambientales. En las regiones tropicales donde no hay periodos de estrés térmico (frío) y/o agua (sequía), las plantas de cítricos tienen flujos continuos de crecimiento y florecimiento, y por lo tanto no existe concentración de la producción, lo que, por el contrario, se distribuye a lo largo del año (Erickson, 1968; Reuther, 1973). Esto demuestra que el estado de reposo no es condición básica para se produce la floración; la producción de botones florales y, en consecuencia, la floración, sin embargo, son menos intensos cuando no se produce el período de reposo.

La antesis se produce después del período de inducción y diferenciación, cuando hay condiciones térmicas e hídricas favorables (Albrigo & Davies, 1994). Aunque la floración puede ocurrir durante todos los meses, por lo general es más intensa en las regiones subtropicales durante el final del invierno y principios de la primavera (Erickson, 1968). Ya en las regiones tropicales, donde hay sequía durante cierta época del año y no se produce la variación estacional de las condiciones térmicas, la

floración se producirá siempre después del restablecimiento de las lluvias (Reuher 1973, 1977; Davies & Albrigo, 1994; Gat *et al.*, 1997)

La producción de flores en cítricos alcanza valores que van de 100 a 200.000 unidades (Albrigo & Davies, 1994). Sin embargo, la proporción de los que se mantiene en las plantas es muy pequeña, del orden de 15 a 20%, mientras que sólo el 0,1 a 6% de las flores resultará en frutos maduros (Erickson & Brannaman, 1960; Erickson, 1968; Monselise, 1986). La caída de las flores está condicionada por una serie de factores que van desde aspectos morfológicos, fisiológicos y fitosanitarios, al medio ambiente, sobre todo, las altas temperaturas, lluvias fuertes, ráfagas de viento y la deficiencia de agua (Reuther, 1973; Davies & Albrigo, 1994; Doorenbos & Kassam, 1994), que también determina la caída de los frutos recién formados.

En la primera etapa, durante las seis a ocho semanas después de la antesis, la abscisión de frutos pequeños se da debido a su formación defectuosa (Davies & Albrigo, 1994) y también a las altas temperaturas (Reuther, 1977). Después de este período, los frutos que quedan continúan sufriendo la abscisión por alrededor de dos a tres meses, siendo el proceso, en esta etapa, influenciado principalmente por la combinación de alta temperatura del aire ($> 35^{\circ}\text{C}$), baja humedad relativa y velocidad del viento intenso (Reuther, 1977; Ben Mechlia & Carroll, 1989).

Después de este período, en el final de la primavera y principios del verano, entre noviembre y diciembre, hay una gran caída de frutos, de diámetro de 0,5 a 2 cm, probablemente relacionado con la competencia por los hidratos de carbono, agua, hormonas y otros productos metabólicos (Davies & Albrigo, 1994), aun siendo influenciado por las altas temperaturas entre 35 y 40°C y baja humedad del suelo (Reuther, 1977).

El crecimiento de la fruta de la mayoría de especies de cítricos sigue un modelo sigmoideo (Figura 9), que se puede subdividir básicamente en cuatro fases (Bain, 1958).

La fase I es la división celular (DVC), en la que se forman casi todas las células del fruto, siendo determinado en ese momento, su tamaño potencial. La duración de esta fase varía de una a seis semanas después de la polinización, dependiendo de las condiciones meteorológicas (Davies & Albrigo, 1994). Durante la Fase II, se produce la diferenciación celular (DFC), en que se forman otros tipos de tejidos en frutos pequeños (Rodríguez, 1987; Davies & Albrigo, 1994).

La Fase III, denominada de expansión celular (EC) se caracteriza por el rápido crecimiento del fruto y el aumento de la respiración y el porcentaje total de sólidos solubles. Durante esta fase, las células aumentan en su volumen en 1.000 veces (Davies & Albrigo, 1994). Su duración media varía según la especie y variedad. Para limas y limones, es de alrededor de dos a tres meses, mientras que, para las naranjas dulces, oscila entre cinco y seis meses. Sin embargo, dada la alta dependencia entre el crecimiento de los frutos y las condiciones térmicas, este periodo es variable, especialmente entre las diferentes regiones climáticas, que van en el caso de las naranjas, de tres a cuatro meses en los trópicos hasta 10 a 12 meses en subtropical.

Fase IV es denominada de maduración (M) y se inicia cuando la cáscara comienza a perder el color verde intenso. Se caracteriza por el lento crecimiento de frutos, pequeño incremento en los sólidos solubles totales y la rápida disminución de la acidez total (Erikson, 1968; Rodríguez, 1987; Davies & Albrigo, 1994) y puede durar varios meses, dependiendo de las condiciones térmicas en el sitio. Para naranjas de Valencia, la duración total del período entre la floración y la maduración, es decir, en la

medida en que la relación de los sólidos solubles totales (°Brix) y ácido alcanzan niveles aceptables, que van de seis a siete meses en las regiones cálidas de los trópicos, hasta 14 a 16 meses, en las temperaturas más frías del clima mediterráneo (Sentelhas, 2005).

Respecto a la ecofisiología de los cítricos, la temperatura es uno de los principales elementos meteorológico-climáticos para influir en la distribución geográfica de los mismos (Gat *et al.*, 1997).

En la fase de crecimiento vegetativo, la mayoría de especies de cítricos tienen crecimiento, tanto la parte aérea como las raíces, apreciablemente reducido a una temperatura diurna constante entre 12 y 13°C (Reuther, 1973), deteniéndose alrededor de 5°C (Ortolani *et al.*, 1991). Por encima de 12 °C, la tasa de crecimiento de la parte aérea de la planta, expresada en términos de masa verde aumenta gradualmente, alcanzando un máximo a aproximadamente 23-31°C, mientras que, para las raíces, se produce la máxima tasa de crecimiento alrededor de 25 y 26°C. Por encima de 32°C, para la parte aérea, y 27°C a las raíces, la tasa de crecimiento comienza a disminuir, hasta que a partir de 37°C el crecimiento de ambos cesa, por daños fisiológicos (Reuther, 1973, 1977; Ortolani *et al.*, 1991; Davies & Albrigo, 1994; Doorenbos & Kassam, 1994; Sentelhas, 2005).

En los gráficos 30 y 31 se encuentra representado los umbrales de temperatura máximos, mínimos y óptimos para los cítricos, las fases fenológicas de los mismos y las temperaturas medias mensuales de la localidad de Monte Caseros. Se observa que estas últimas se encuentran dentro de los umbrales de temperatura máxima y mínima para el crecimiento de los cítricos; y en gran parte de los que es crecimiento de los frutos (DVC, DFC y EC) se encuentran en condiciones óptimas de temperatura.

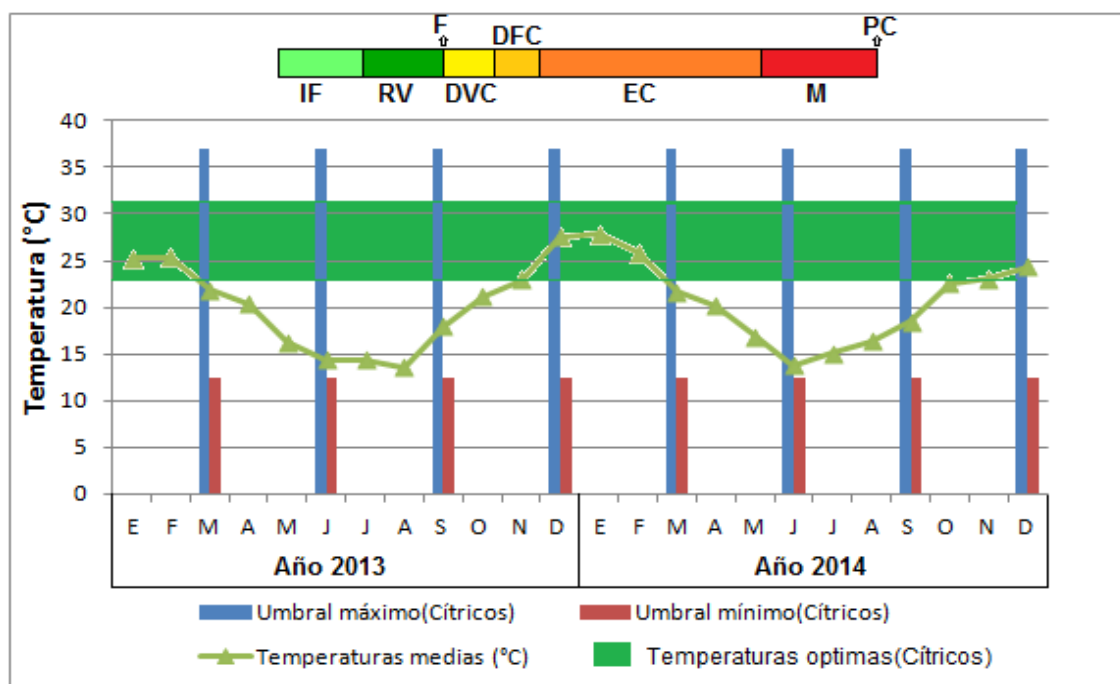


Gráfico 30: Umbral de temperaturas máximas y mínimas para el crecimiento de los cítricos; en relación a la distribución de las temperaturas de los años 2013 -2014.

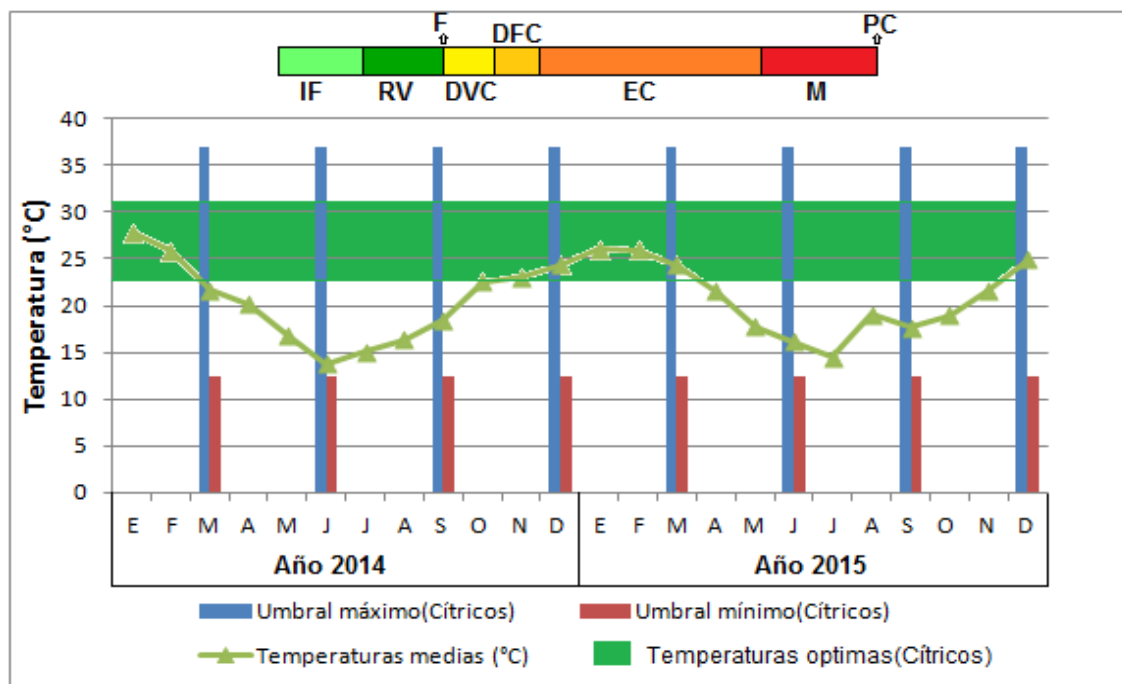


Gráfico 31: Umbral de temperaturas máximas y mínimas para el crecimiento de los cítricos; en relación a la distribución de las temperaturas de los años 2014 -2015.

Según Rodríguez (1987), los intervalos de temperatura considerada óptima para que los frutos muestren excelentes aspectos cualitativos son de 25 a 30°C durante el día y 10 a 15°C durante la noche. Volpe *et al.* (2000) observaron que la variable que más influye en la calidad (concentración de sólidos solubles y acidez) de la naranja Valencia en la región de Bebedouro (SP), fue la temperatura del aire, expresada en términos de grado días (Sentelhas, 2005).

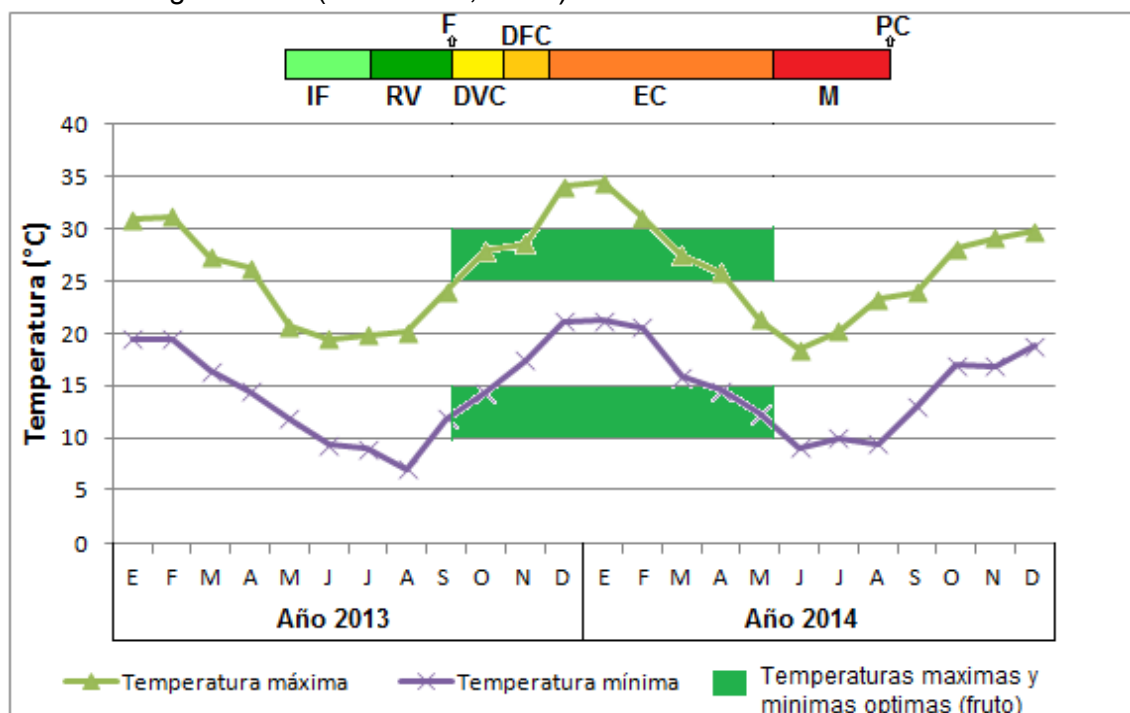


Gráfico 32: Intervalos de temperatura considerada óptima (barras verdes) para que los frutos muestren excelentes aspectos cualitativos; en relación a la distribución de temperaturas máximas y mínimas en los años 2013-2014.

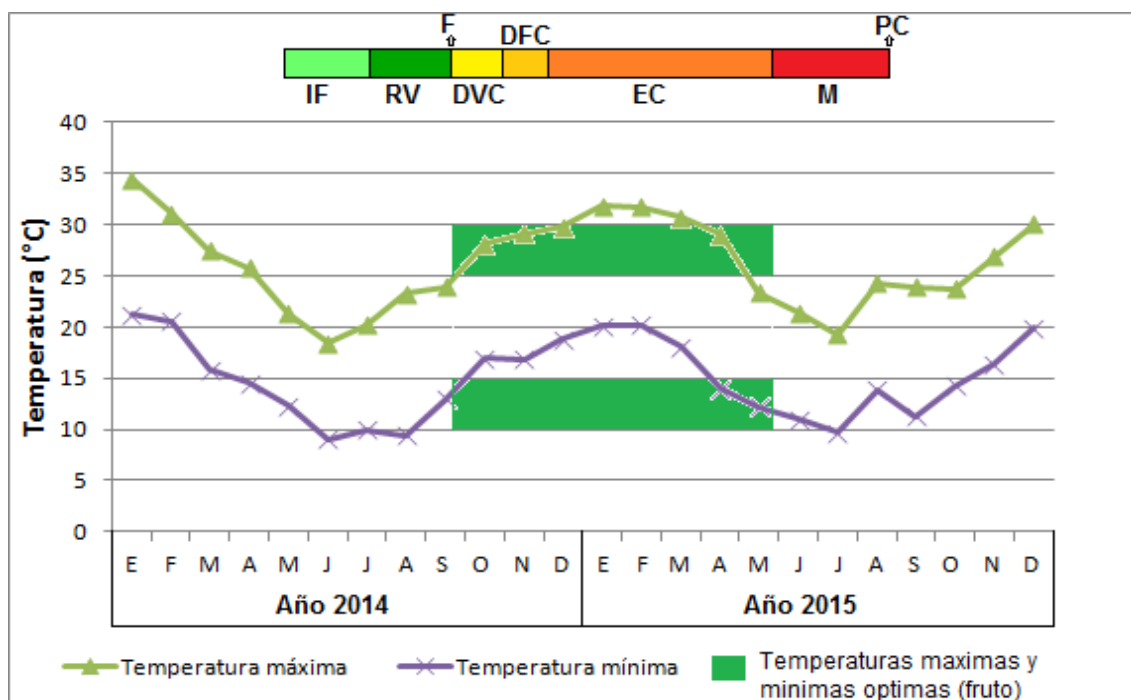


Gráfico 33: Intervalos de temperatura considerada óptima (barras verdes) para que los frutos muestren excelentes aspectos cualitativos; en relación a la distribución de temperaturas máximas y mínimas en los años 2013-2014.

En los gráficos 32 y 33 se esquematiza lo dicho anteriormente, y se grafica las temperaturas medias máximas y mínimas mensuales de los años 2013-2014 y 2014-2015 de la localidad de Monte Caseros. Se aprecia que las temperaturas máximas para el periodo que corresponde al crecimiento del fruto (DVC, DFC y EC) se encuentran dentro del rango óptimo; sin embargo, no sucede lo mismo con las temperaturas mínimas en dicho periodo, ellas se encuentran por encima de las temperaturas mínimas óptimas. Probablemente esta situación de la falta de amplitud térmica hará que la calidad de la fruta se vea disminuida.

Las plantas cítricas tienen cierta resistencia al frío, en comparación con otras especies frutales de clima tropical y subtropical. Normalmente tolera heladas leves, con daños iniciándose a partir de temperaturas de -3°C a nivel de la hoja (Doorenbos & Kassam, 1994); esto, sin embargo, es extremadamente variable, dependiendo de la especie, variedad, combinación copa – porta-injerto, la edad, la etapa de desarrollo, la época de ocurrencia, la intensidad y duración del fenómeno (Ortolani *et al.*, 1991).

Para las plantas adultas, temperaturas foliares en el rango de -4 a -8°C pueden causar un daño significativo, especialmente en la parte exterior de la planta, mientras que las temperaturas iguales o inferiores a -10°C mata a toda la planta. En la floración y fructificación temprana (fases I y II), pueden surgir heladas tardías en las regiones de latitudes altas ($> 30^{\circ}\text{N}$ o S); temperaturas de 0°C , incluso por períodos cortos, provoca la caída de las flores y frutas (Doorenbos & Kassam, 1994; Gat *et al.*, 1997), mientras que en la fase de reposo vegetativo, las plantas de cítricos son menos susceptibles al daño por frío, especialmente cuando el porta-injerto utilizado es *Poncirus trifoliata* (L.) Raf., que condiciona la copa a la latencia total durante el invierno, aumentando el grado de tolerancia al frío (Ide *et al.*, 1980; Sentelhas, 2005).

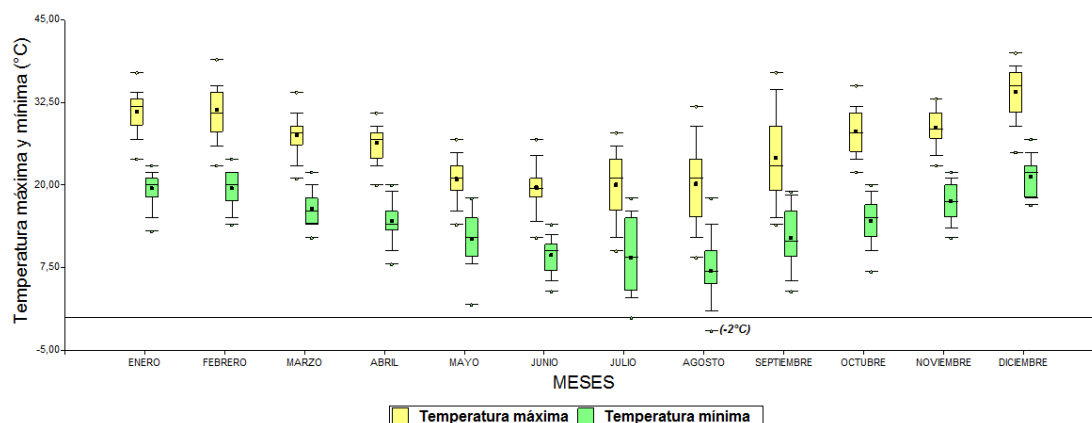


Gráfico 34: Distribución de temperaturas máximas y mínimas mensuales en el año 2013 para la localidad de Monte Caseros.

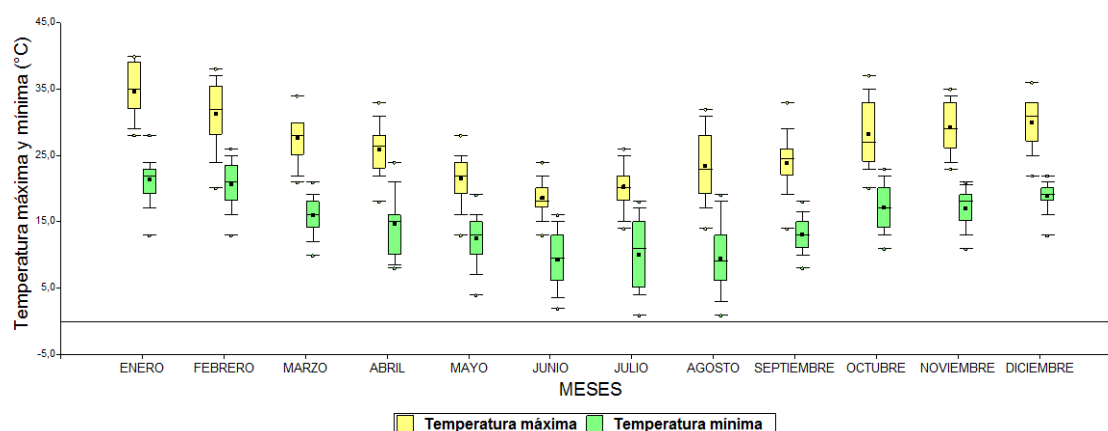


Gráfico 35: Distribución de temperaturas máximas y mínimas mensuales en el año 2014 para la localidad de Monte Caseros.

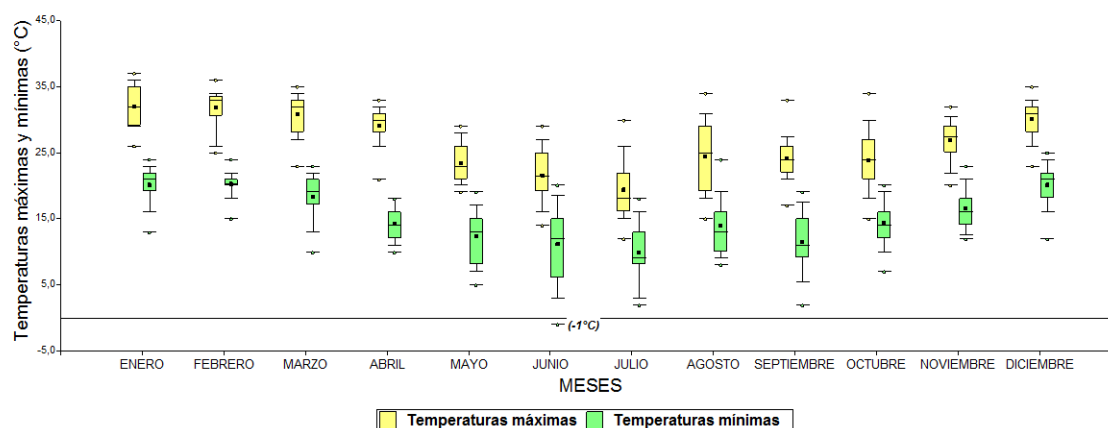


Gráfico 36: Distribución de temperaturas máximas y mínimas mensuales en el año 2015 para la localidad de Monte Caseros.

En los gráficos 34, 35 y 36 se encuentran esquematizadas las variaciones de temperaturas máximas y mínimas mensuales de los años 2013, 2014 y 2015 para la localidad de Monte Caseros. En los gráficos de cajas (Box-Plot) se observa los valores máximos y mínimos absolutos (puntos fuera de la caja) de cada mes. Se puede apreciar que para el año 2014 no se registraron temperaturas inferiores a 0 °C, para el

año 2013 se registraron temperaturas de -2°C en el mes de agosto y para el año 2015 se registraron temperaturas de -1°C en el mes de junio. Analizando el mes de septiembre en el que se da la mayor intensidad de la floración y que es una condición crítica si se presentan temperaturas inferiores a 0°C , se aprecia que para los tres años no se registraron heladas, pero si para el año 2015 hubo temperaturas cercanas a 0°C .

Las precipitaciones no son un factor limitante para el cultivo, ya que si las lluvias no son suficientes pueden suplementarse con riego. Es importante el volumen anual. Se considera que los cítricos necesitan alrededor de 1200 mm por año, siendo también esencial su buena distribución (más o menos 100 mm por mes) (Anderson *et al.*, 1996).

Las plantas de cítricos son perennes, lo que significa que transpiran durante todo el año a diferentes intensidades, lo que dependerá básicamente de la especie, la combinación copa y portainjertos, la demanda de agua de la atmósfera, la disponibilidad de agua en el suelo, la profundidad del sistema radical, la fase fenológica en que se encuentra, de su área foliar, de las prácticas culturales y el espaciamiento adoptado (Ortolani *et al.*, 1991; Doorenbos & Kassam, 1994).

El requerimiento de agua de cítricos, con el fin de obtener altos niveles de rendimiento, por lo tanto, también dependen de estas variables, oscilan entre 600 y 1300 mm/año según Reuther (1973), Ortolani *et al.* (1991) y Doorenbos y Kassam (1994).

De acuerdo con Doorenbos y Kassam (1994), cuando los huertos sufren estrés hídrico, al principio hay una desaceleración del crecimiento, seguido de enrollamiento de las hojas y la posterior caída de éstas y los frutos jóvenes o la reducción del crecimiento de los frutos ya desarrollado, con alteración en la calidad (disminución del contenido de jugo y acidez). Este efecto es más significativo en la floración, en cambio en la fase de maduración, los cítricos son menos sensibles al déficit hídrico (Sentelhas, 2005).

En los siguientes gráficos se representa los déficits y excesos hídricos para los años 2013, 2014 y 2015. Se considera como punto límite, para determinar el déficit o el exceso, los 100 mm ya mencionados. En el año 2013 los meses que estuvieron por debajo de dicho límite fueron abril, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre; el resto de los meses hubo excesos. Para el año 2014 el déficit fue en mayo, junio, julio y agosto, el resto de los meses se presentaron excesos hídricos. En cambio, para el año 2015 el déficit se dio en los meses de marzo, abril, junio, julio y septiembre.

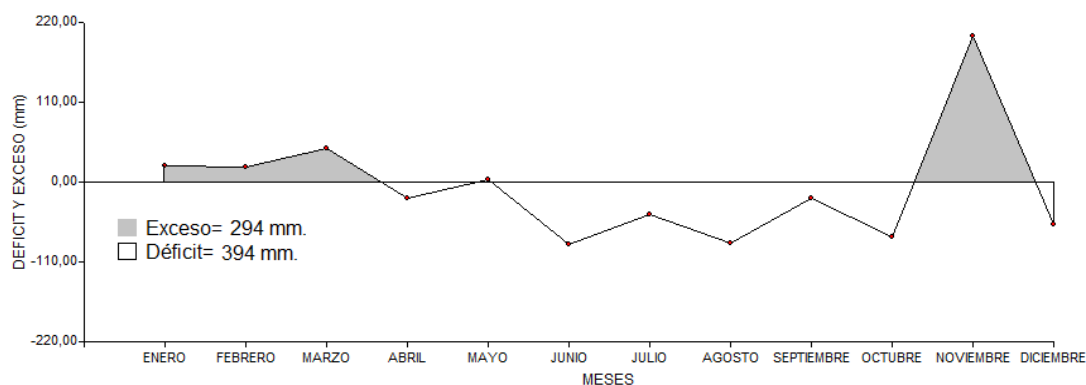


Gráfico 37: Déficit y excesos hídricos en los meses del año 2013.

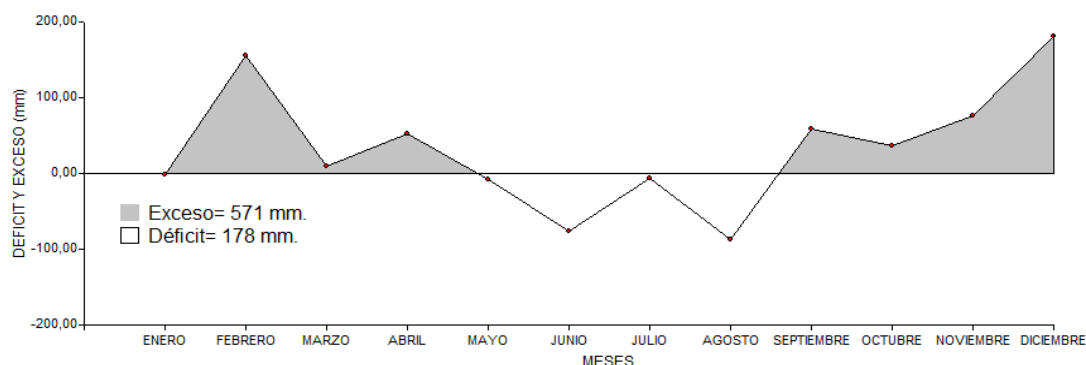


Gráfico 38: Déficit y excesos hídricos en los meses del año 2014.

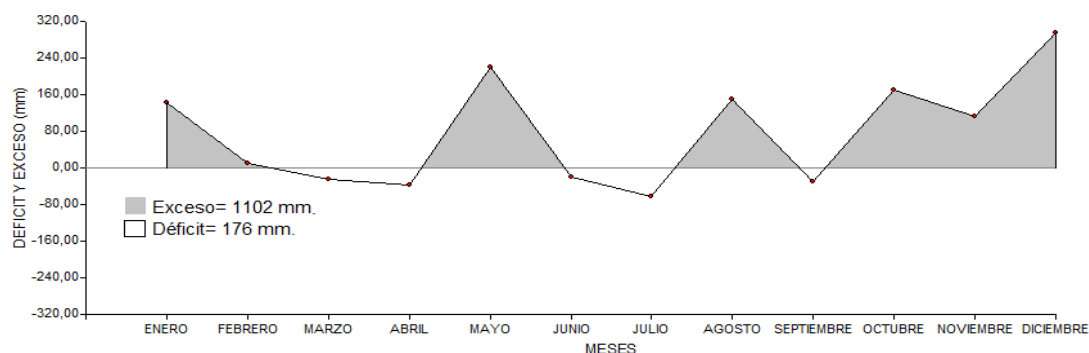


Gráfico 39: Déficit y excesos hídricos en los meses del año 2015.

4. *Carya illinoensis* (Pecán)

En relación a los requerimientos bioclimáticos, se tuvieron en cuenta cuatro factores, como lo son: el período medio libre de heladas, la temperatura media del verano, las horas de frío y la precipitación del período de crecimiento, considerado de octubre a abril incluidos, a los que se sumó otro factor, que permitiría lograr un mayor ajuste, el mismo corresponde a la precipitación de los primeros quince días de marzo. El período medio libre de heladas, corresponde al número de días entre la última helada del año y la primera del año siguiente, debe oscilar como mínimo entre 180 y 220 días y según Wood (1991) preferentemente superar los 240 días. Las temperaturas medias de verano (diciembre, enero y febrero), según Manaster (1994) tienen que ser relativamente elevadas, siendo más favorables promedios para el trimestre superiores a los 23,9°C. Como todo árbol de hojas caducas, la satisfacción de cierto requerimiento de frío en el período de reposo, es fundamental. El mismo está dado para esta especie, por el número de horas inferiores a 7°C, que se establecen como mínimo en 400 horas (Wood 1991). Dado que existen variedades con menores requerimientos en frío, se utilizó una variante introduciendo una alternativa para la zonificación, usando 200 horas de frío. El pecán requiere además un ambiente húmedo, con una lluvia anual entre 760 y 2010 mm, con un mínimo en la estación de crecimiento, que abarca del 1 de octubre al 30 de abril, de 510 mm (Peterson, 1990). El quinto factor corresponde a las precipitaciones de los primeros quince días de marzo, fundamentales según Sparks (2001) ya que influyen tanto en un buen llenado

de la nuez, como en su calidad, las precipitaciones de ese período según Sparks (1997), deben superar los 62,5 mm (Conti *et al.*, 2008).

Como ya se expuso, la distribución de las temperaturas máximas y mínimas en los años 2013, 2014 y 2015; permite analizar que, en el año 2014 no se registraron heladas, sin embargo, en los años 2013 y 2015 se registraron temperaturas inferiores a 0°C. En los tres años el periodo libre de heladas supera los 240 días requeridos por el cultivo.

El Gráfico 40 muestra las temperaturas medias de los meses de diciembre, enero y febrero (verano), en el cual se observa el promedio trimestral es de 27,1°C para el periodo 2013-2014 y 25,4°C para el correspondiente al 2014-2015. Estas son mayores a los 23,9 °C considerado anteriormente, requerido por el cultivo.

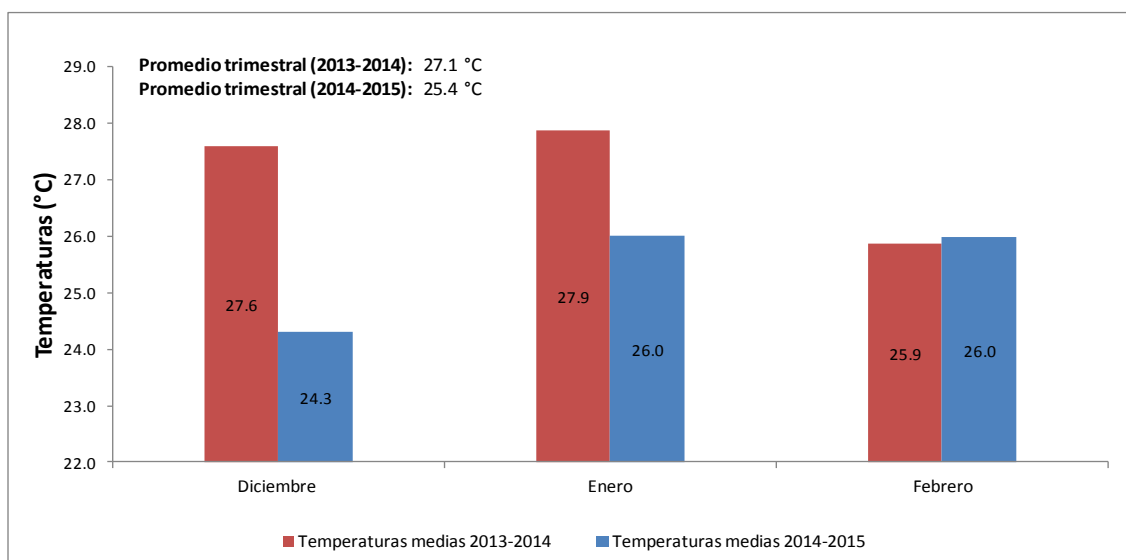


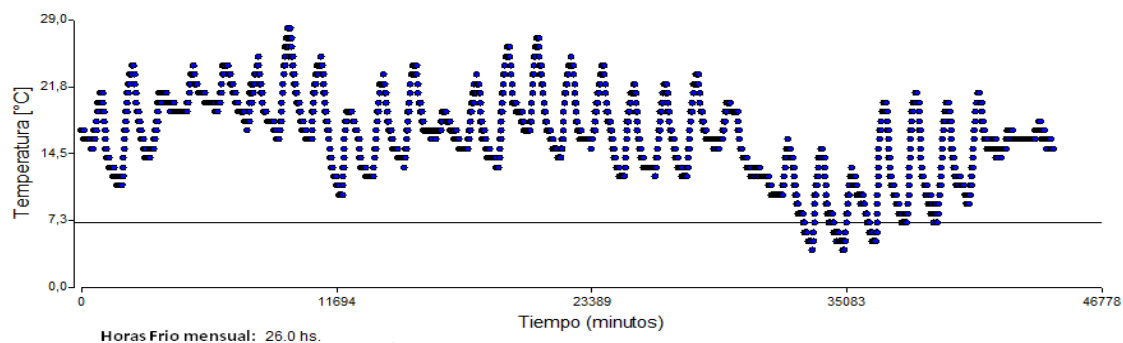
Gráfico 40: Promedio trimestral de temperaturas (diciembre, enero y febrero) para los periodos 2013-2014 y 2014-2015.

Los gráficos a continuación muestran la distribución de las temperaturas registradas cada 10 minutos, para los meses mayo, junio julio y agosto en el año 2014; y mayo, junio, julio, agosto y septiembre en el 2015 (sólo se analizaron los meses que se registraron temperaturas inferiores a 7°C). La línea divisoria presente en los gráficos indica la temperatura de 7°C, considerada temperatura por la cual por bajo de ella el cultivo comienza a acumular horas frío. Al pie de cada gráfico se detalla la acumulación de horas frío en todo el mes.

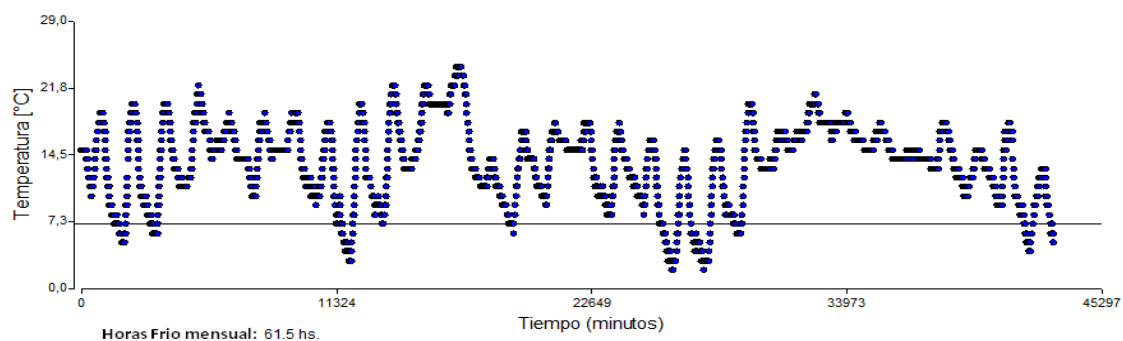
Para el año 2014 la acumulación de horas frío para los meses que tuvieron temperaturas inferiores a 7°C fue de 225,3 horas. Para el año 2015, en cambio, dicha acumulación fue de 136,7 horas; siendo esta inferior a las 200 horas requerida por las variedades de menor exigencia.

AÑO 2014:

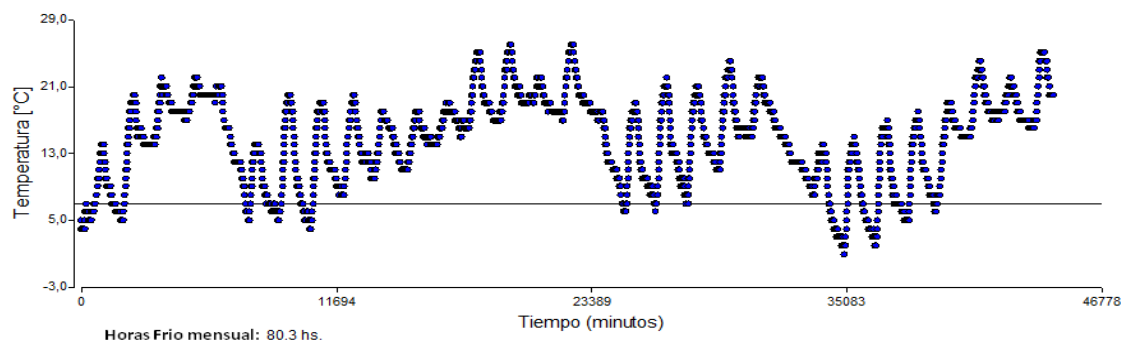
a)



b)



c)



d)

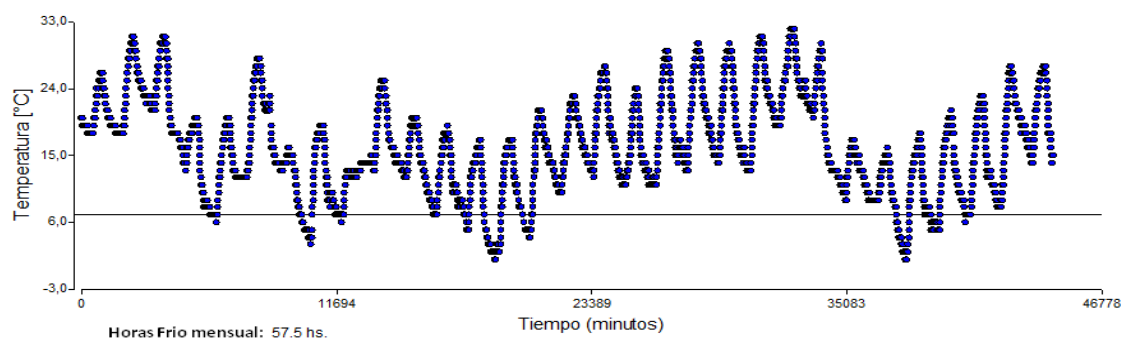


Gráfico 41: Distribución de las temperaturas registradas cada 10 minutos, para los meses a) mayo b) junio c) julio d) agosto, para el año 2014.

AÑO 2015:

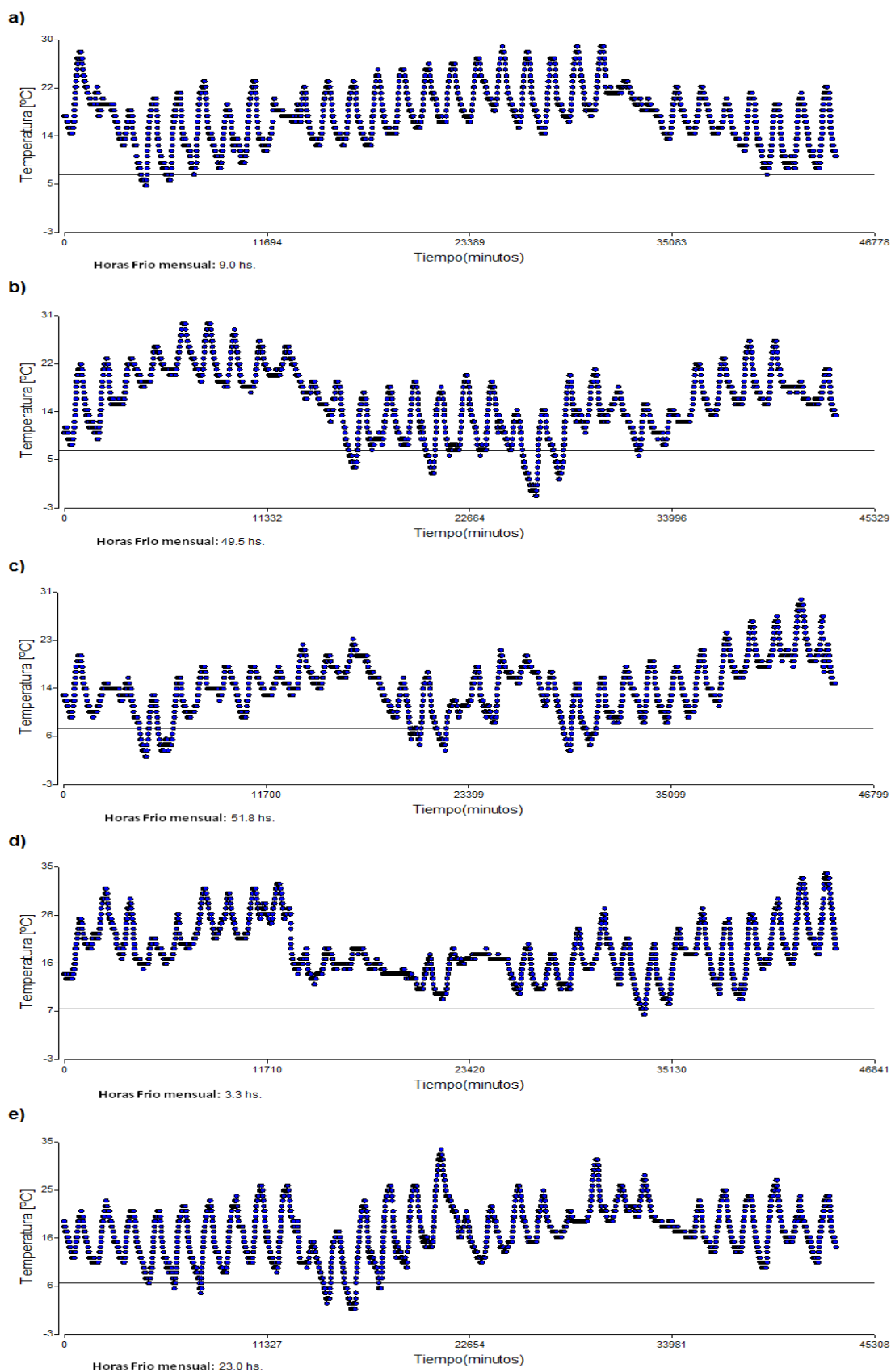


Gráfico 42: Distribución de las temperaturas registradas cada 10 minutos, para los meses a) mayo b) junio c) julio d) agosto e) septiembre, para el año 2015.

Para el año 2013 se estimaron las horas frío, debido a que no se pudo conseguir registros minuto a minuto de las temperaturas, se utilizó el modelo lineal (Anderson & Seeley, 1992) en el cual se estiman las horas fríos en base a las temperaturas máximas y mínimas diarias. A continuación, se muestra el gráfico que resulta de la simulación, se puede observar que las horas de frío acumulada para el año 2013 fue 244,7 horas.

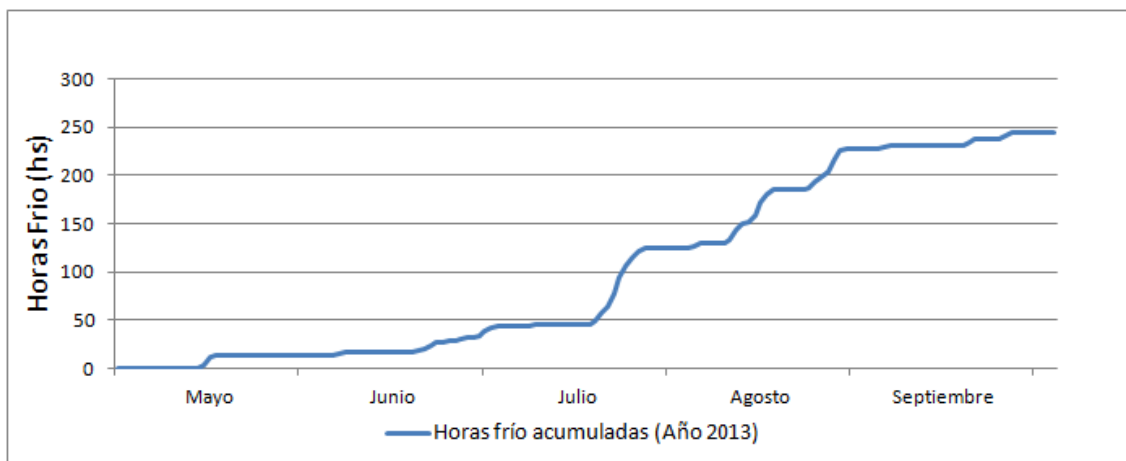


Gráfico 43: Horas frías acumuladas para el año 2013, simuladas a partir del modelo lineal.

Alonso *et al.* (2001) concluyeron en su trabajo que el modelo lineal subestima en un 9 % la cantidad de horas frío para el lapso abril/septiembre, lo que podría decirse que las horas frío reales podrían presentar valores por encima de las estimados. Para validar que esto también ocurre en la localidad de estudio, se hizo una comparación de las horas fríos reales y las estimadas para los años 2014 y 2015, que se presenta a continuación:

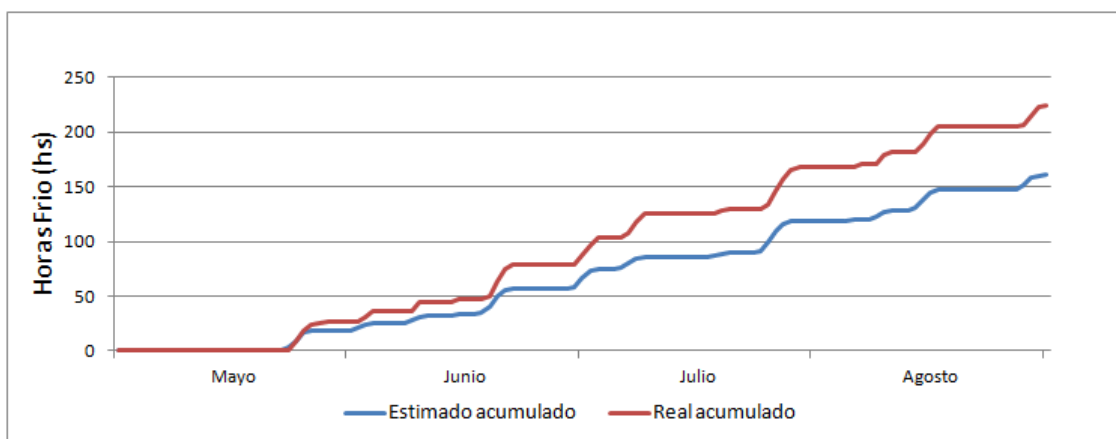


Gráfico 44: Comparación de horas frías acumuladas, reales (rojo) y estimadas (azul), para el año 2014.

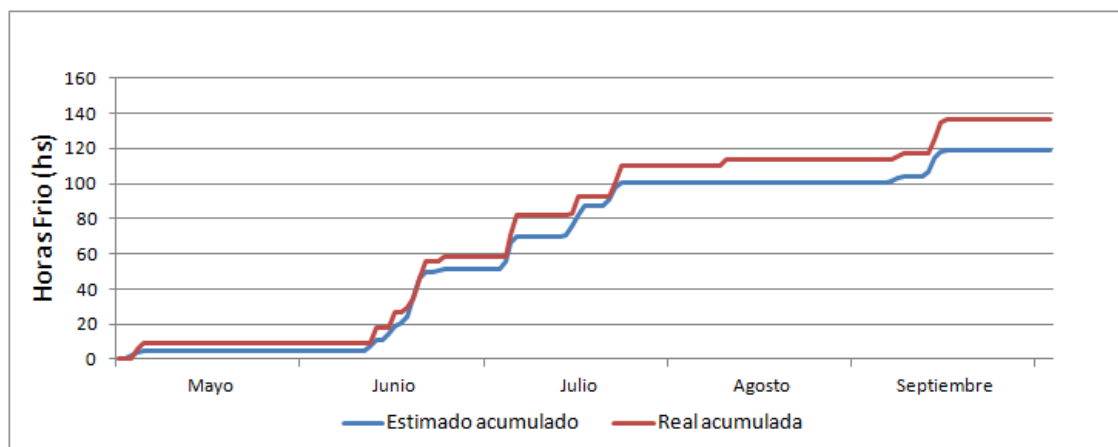


Gráfico 45: Comparación de horas frías acumuladas, reales (rojo) y estimadas (azul), para el año 2015.

Para el año 2015 la subestimación fue de un 12,9 %, valor cercano a lo obtenido por Alonso *et al.* Sin embargo, para el año 2014 la subestimación fue mayor, 28,4 %. El Gráfico 46 muestra la distribución de las precipitaciones en los años 2013 (celeste), 2014 (azul) y 2015 (rojo), así como también las precipitaciones de la primera quincena del mes de marzo para los respectivos años.

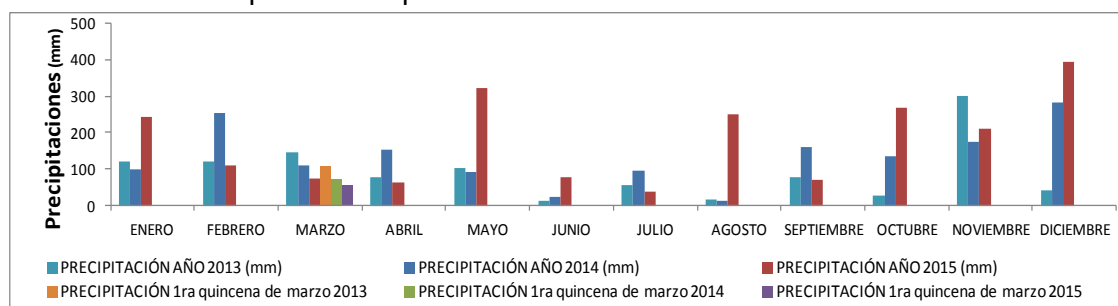


Gráfico 46: Precipitaciones mensuales para los años 2013, 2014 y 2015; y precipitaciones de la primera quincena del mes de marzo en los respectivos años.

Los registros de precipitaciones, para los años 2013, 2014 y 2015, sumaron un total de 1100 mm, 1592 mm y 2125 mm respectivamente. Para la primera quincena de marzo de 2013 y 2014 se registró un total de 107 mm y 70,4 mm respectivamente, superando los 62,5 mm requeridos por el cultivo, fundamental según Sparks (2001) ya que influyen tanto en un buen llenado de la nuez, como en su calidad; en cambio, para el año 2015 en la primera quincena del mismo mes se registró un total de 57,2 mm, algo inferior a lo requerido.

En la estación de crecimiento, periodo considerado del 1 de octubre de 2013 al 30 de abril de 2014, las precipitaciones sumaron un total de 983 mm, y en el periodo desde el 1 de octubre de 2014 al 30 de abril de 2015 fue 1083 mm, superando a lo que el cultivo requiere (510 mm).

SÍNTESIS DE RESULTADOS OBTENIDOS:

Tabla 4: Comparación entre lo modelado por el sistema DSSAT , para los cultivos de maíz y sorgo, con las condiciones ambientales de Empedrado.

CULTIVOS ANUALES	MAÍZ			SORGO		
AÑO	2013	2015	2016	2013	2015	2016
² PRECIPITACIONES (mm)	593	495	679	510	437	570
¹ EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)	377	411	423	362	373	383
² TEMPERATURA MEDIA EN EL CICLO DEL CULTIVO (°C)	22,2	24,8	24,5	23,5	25,9	26,1
² TEMPERATURA MEDIA EN LLENADO DE GRANO (°C)	19,7	22	22,2	21,6	24,1	25,1
¹ CICLO DEL CULTIVO (DIAS)	132	115	116	107	93	93
¹ TIEMPO DE LLENADO DE GRANOS (DIAS)	58	48	48	38	34	31
² RADIACIÓN MEDIA EN LLENADO DE GRANO (MJ/m ² .d)	13	13,2	12,7	15,9	14,8	14,3
¹ BIOMASA (kg/ha)	5565	5217	5364	7132	6394	6640
¹ RENIMIENTO (kg/ha)	2344	1978	1931	1755	1619	1602
¹ RENDIMIENTO COMPARADO (SIN FERTILIZAR/FERTILIZADO)	2344/8886	1978/8122	1931/7462	1755/5645	1619/4910	1602/4649

DATO: ¹Simulado con el sistema DSSAT; ²Condiciones ambientales (Empedrado)**Tabla 5:** Comparación de los requerimientos de cítricos con las condiciones ambientales de Monte Caseros.

CULTIVO	CÍTRICOS		
AÑO	2013	2014	2015
¹ TEMPERATURA UMBRAL MÁXIMA Y MÍNIMA (°C)	12,0-37,0		
² INTERVALO DE TEMPERATURA (°C)	13,6-27,6	13,8-27,9	14,5-26,0
¹ RESISTENCIA A BAJAS TEMPERATURAS (°C)	Hasta -3°		
² MESES CON TEMPERATURA MENOR A 0°C	Agosto (-2°C)	-	Junio (-1°C)
¹ REQUERIMIENTO HÍDRICO (mm mensuales)	100 mm		
² MESES DE DÉFICIT	Jun-Jul-Agost-Sept-Oct-Dic	May-Jun-Jul-Agost	Mar-Abr-Jun-Jul-Sept
² MESES DE EXCESO	Ene-Feb-Mar-Nov	Feb-Mar-Abr-Sept-Oct-Nov-Dic	Ene-Feb-May-Agost-Oct-Nov-Dic

DATO: ¹Requerimiento del cultivo ²Condiciones ambientales (Monte Caseros)**Tabla 6:** Comparación de los requerimientos de pecán con las condiciones ambientales de Monte Caseros.

CULTIVO	PECÁN		
AÑO	2013	2014	2015
¹ PERIODO LIBRE DE HELADAS (días)	240		
² PERIODO LIBRE DE HELADAS (días)	>240	>240	>240
¹ TEMPERATURA MEDIA DE VERANO (°C)	23,9°		
² TEMPERATURA MEDIA DE VERANO (°C)	27,1°	25,4°	
¹ HORAS FRÍO (Variedad de menor exigencia)	200 hs		
² DISPONIBILIDAD DE HORAS FRÍO	245 hs	225 hs	137 hs
¹ REQUERIMIENTO HÍDRICO ANUAL (mm)	760 - 2010		
² DISPONIBILIDAD PLUVIOMÉTRICA ANUAL (mm)	1100	1592	2125
¹ REQUERIMIENTO HÍDRICO MARZO (mm)	62,5		
² DISPONIBILIDAD PLUVIOMÉTRICA MARZO (mm)	107,0	70,4	57,2

DATO: ¹Requerimiento del cultivo ²Condiciones ambientales (Monte Caseros)

CONCLUSIÓN:**Cultivos anuales (Empedrado):**

Tanto la simulación de producción del cultivo de maíz como la de sorgo, para la localidad de Empedrado, muestran valores aceptables de rendimiento. La producción de biomasa de sorgo presenta valores superiores a maíz, 6722 kg/ha en promedio para los tres años estudiados para el primero y 5382 kg/ha para el segundo. En cambio, en los aspectos de rendimientos en granos, el cultivo de maíz arrojó resultados superiores a los de sorgo (2084 kg/ha promedio para los tres años estudiados para el primero, y 1658 kg/ha para el segundo), esto se debe a que el maíz presenta un índice de cosecha mayor al de sorgo, en el primero presentó valores cercanos a 0,40 y para el segundo valores cercanos a 0,25.

Los rendimientos arrojados están por debajo de lo que el potencial de los cultivos puede alcanzar, esto se debe a que dentro del sistema productivo existen limitantes que merman la producción. Una de las limitantes que se encontró en el agroecosistema de Empedrado es la baja fertilidad de los suelos, y no tanto por las condiciones meteorológicas del sitio; esto se demuestra con la simulación en dos escenarios, uno en la cual no se agrega ningún insumo al sistema, y el otro en el cual se suministra fertilizante nitrogenado. En este último caso, los resultados obtenidos de la simulación fueron muy superiores; 8156 kg/ha promedio para los tres años estudiados para maíz y 5068 kg/ha para sorgo, comparándolo con los resultados expuestos en el párrafo anterior.

Cultivos perennes (Monte Caseros):

Las condiciones ambientales de Monte Caseros demuestran ser más favorables para los cultivos cítricos que para el cultivo de nuez pecán. En lo que concierne a cítricos, las temperaturas medias del sitio se encuentran dentro de los umbrales máximos y mínimos requeridos, así como no debería presentar anomalías por bajas temperaturas, ya que en los meses más fríos (en los 3 años evaluados) no fueron menores a los considerados críticos para la supervivencia de la especie. Las precipitaciones muestran una distribución marcada en la cual se observa excesos en los meses de primavera, verano y otoño; y leves déficits hídricos en los meses de invierno, lo que hace que las condiciones sean propicias para una intensa floración. Una de las limitantes que se encontró es la falta de amplitud térmica, probablemente esta situación hará que la calidad de los frutos se vea disminuida.

El cultivo de pecán, podría llevarse a cabo en aquellos de menor exigencia en horas frío (200 horas frío), en los tres años evaluados solo en dos de ellos cubrieron con esta exigencia y en uno no se llegó a acumular las 200 horas. Las temperaturas medias de verano se encuentran por encima del requerido por el cultivo (23,9°C) y el periodo libre de heladas se encuentra por debajo de las exigencias, en estos aspectos las condiciones son favorables. Lo referido a precipitaciones cubre las exigencias, tanto en lo exigido en el mes de marzo para el buen llenado de la nuez como para la estación de crecimiento (considerado entre el 1 de octubre al 30 de abril).

BIBLIOGRAFIA:

- Alonso M, Rodríguez R y Gómez S. 2001. La utilización de las temperaturas máxima y mínima diarias para la estimación de la disponibilidad de hs. de frío. Rev Fac. de Agr Bs As, 21: 261-264.
- Anderson C, (Ed.). 1996. Manual para productores de naranja y mandarina de la región del río Uruguay. INTA. Capítulo IV. Planeamiento de un cultivo cítrico. http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_manual_citricultura_cap4crev_mip.pdf
- Andrade F.H & V.O. Sadras. 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. E.E.A INTA Balcarce- FCA-UNMP 450 págs.
- Eyherávide, G. 2015. Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz. INTA Pergamino. 299 págs.
- Batalla D, J.L Baudino, M Campos, S Castaño, G Ceritti, A Loredó, H Fontaneto, B. Gambín, *et al.* 2012. Producción de Sorgo *Granífero*. CREA. 69 págs.
- Bianchi, A & S Cravero. 2010. Atlas climático digital de la república argentina. INTA. 55 págs.
- Canevali R, 1994. Fitogeografía de la provincia de corrientes. Gobierno de la provincia de Corrientes. INTA. 324 págs.
- Conti H.A ; R.C Moschini; C Abbate; G Cazenave & E Frusso. 2004. Área de Aptitud Agroclimática del Pecán en la Región Pampeana. INTA CIRN. <http://agro.unc.edu.ar/~clima/AADA/Congresos/MDQ/presidente.htm>
- Conti H.; R. Moschini & G Cazenave. 2008. Zonificación Agroclimática del Pecán en la Región Pampeana y Noreste Argentino, XII Reunión Argentina de Agrometeorología Jujuy.
- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Escobar E.H, H.D Ligier, R Melgar, H Matteo & O Vallejos. 1996. Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1:500.000. Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales E.E.A. INTA – Corrientes. 315 págs.
- Hoogenboom G., J. W. Jones, P. W. Wilkens; C. H. Porter; K., J. Boote, *et al.*, 2015. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6. <http://www.DSSAT.net>.
- Loomis, R.S & D.J Connor, 2002. Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios. Ed. Mundiprensa. 591pp.
- Murphy G.M. (Ed.). 2008. Atlas Agroclimático de la Argentina. Ed. Facultad de Agronomía UBA. 130pp.
- Ovando, G y Dardanelli, J 2002. Modelos de simulación de cultivos. 143 págs.
- Palacios J. 2005. Citricultura. Tucumán Argentina. 518págs.
- Pascale, A.J. 2007. Árboles Frutales. Ecofisiología, Cultivo y aprovechamiento. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 805 págs.
- Sentelhas, P.C. 2005. Agrometeorología dos citros. In: Mattos Junior D *et al.* (eds) citros. Campinas: Instituto Agronomico; Fundag. Cap. 11, p 317-344.
- Travasso & Suero, 1994. Estimación de la capacidad de almacenaje de agua en suelos del sudeste bonaerense. Boletín Técnico N° 125. EEA Balcarce.