

**Aplicación del modelo DSSAT en cultivos de
frijol en El Guayabo y Campus de la EAP
Zamorano, Honduras**

Raúl Jefferson Osorio Morillo

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**
Octubre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

Aplicación del modelo DSSAT en cultivos de frijol en El Guayabo y Campus de la EAP Zamorano, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

Raúl Jefferson Osorio Morillo

Zamorano, Honduras
Octubre, 2014

Aplicación del modelo DSSAT en cultivos de frijol en El Guayabo y Campus de la EAP Zamorano, Honduras

Presentado por:

Raúl Jefferson Osorio Morillo

Aprobado:

Erika Tenorio, M.Sc.
Asesora Principal

Laura Suazo, Ph.D.
Directora
Departamento de Ambiente y
Desarrollo

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.
Asesora

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Ivanna Vejarano, MAP.
Asesora

Aplicación del modelo DSSAT en cultivos de frijol en El Guayabo y Campus de la EAP Zamorano, Honduras.

Raúl Jefferson Osorio Morillo

Resumen: Este estudio simuló la productividad de frijol variedad Amadeus 77 en la comunidad El Guayabo y en Zamorano mediante la aplicación del modelo DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) como herramienta para futuras aplicaciones en la predicción de impactos productivos derivados de la variabilidad y el cambio climático y para la toma de decisiones en agrotecnología. Las entradas del modelo comprenden datos de clima, de suelo y de manejo del cultivo. Se desarrollaron ensayos experimentales de evaluación de Amadeus 77 a lo largo de un ciclo de cultivo en los dos sitios de estudio. En cada sitio hubo un tratamiento con fertilizante y otro sin fertilizante, cada tratamiento conformado por cuatro repeticiones de tres camas cada repetición. Los datos de clima fueron recolectados por estaciones climatológicas, las características físicas y químicas de suelo fueron analizadas en el laboratorio de suelos de Zamorano y los datos de manejo de cultivo se tomaron 23 días después de la siembra cada ocho días hasta la cosecha para cada sitio de estudio. Las condiciones del experimento permitieron resultados adecuados de la predicción del modelo para las fechas de fenología, más no para la toma de decisiones de rendimiento al no simular valores cercanos a los obtenidos en campo, ya que el experimento no lo permite. Es necesario tener más de cuatro puntos experimentales en cinco o seis épocas de siembra durante un periodo mínimo de dos años, para obtener resultados validos de rendimiento.

Palabras clave: Amadeus 77, cambio climático, fenología, rendimiento, tratamiento variabilidad.

Abstract: This study simulated the productivity of the Amadeus 77 bean in El Guayabo community and El Zamorano by the application of DSSAT model (*Decision Support System for agro technology transfer*) as a tool for future application in the prediction of the productive impact deriving from climate change for agro technology decision-making. The model entries consist of climate, soil, and crop management data. Experimental tests were developed for the evaluation of Amadeus 77 through the crop cycle in both places where the study took place. In both locations there was a treatment with fertilizer and other treatment without fertilizer, each treatment consisted of four repetitions and three beds for each repetition. Climate data was recollected by climate stations, the physical and chemical characteristics of soil were analyzed in Zamorano's soil laboratory, and the crop management data were taken every eight days from day 23 until the crop was harvested. Conditions of the study allowed appropriate prediction results from the model for the phonological dates, but not for yield decision making for it does not simulate values similar to the ones obtained in the production on field because the study does not allow it. It is necessary to have more than four experimental study points in five or six sowing seasons during a minimum period of two years to obtain valid yield results.

Keywords: Amadeus 77, climate change, phenology, treatment, variability, yield.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4 CONCLUSIONES	16
5 RECOMENDACIONES	17
6 LITERATURA CITADA.....	18
7 ANEXOS	21

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros		Página
1.	Descripción de los métodos para el análisis de parámetros físicos y químicos del suelo en El Guayabo y Zamorano, Honduras, 2014.	6
2.	Análisis físico del suelo en las parcelas ubicadas en Zamorano, Honduras,.....	11
3.	Análisis Físico del suelo en las parcelas ubicadas en El Guayabo, Honduras, 2014.....	12
4.	Análisis Químico del suelo en las parcelas ubicadas en Zamorano. g/100g (%), Honduras, 2014	12
5.	Análisis Químico del suelo en las parcelas ubicadas en El Guayabo. g/100g (%),Honduras, 2014	12
6.	Comparación de los fechas de inicio de la etapa de Floración de Amadeus 77, Honduras, 2014.	14
7.	Comparación de los fechas de inicio de la de Madurez Fisiológica del Amadeus 77, Honduras, 2014.....	14
8.	Comparación del Rendimiento (kg/ha) de Amadeus 77 en los sitios de estudio, Honduras, 2014	15
Figuras		Página
1.	Localización del área de estudio, Honduras, 2014.....	4
2.	Precipitación en las parcelas El Guayabo y Zamorano durante el periodo de estudio, Honduras, 2014.....	9
3.	Temperatura en las parcelas El Guayabo y Zamorano, Honduras, 2014.....	10
4.	Radiación Solar en las parcelas El Guayabo y Zamorano, Honduras, 2014	11
5.	Desarrollo del cultivo El Guayabo y Zamorano de acuerdo a sus etapas fenológicas, Honduras, 2014.....	13

Anexos	Página
1. Análisis de materia seca y sólidos volátiles de muestras recolectadas en la parcela experimental de El Guayabo, Honduras, 2014.....	21
2. Análisis de materia seca y sólidos volátiles de muestras recolectadas en la parcela experimental de Zamorano, Honduras, 2014.....	28

1. INTRODUCCIÓN

En Centroamérica y Honduras, la agricultura es una de las principales actividades económicas. La productividad de cultivos esperada en una época del año es influenciada por condicionantes como la temperatura, la precipitación, y la altura, junto con propiedades y características físicas del suelo como la infiltración, cobertura y pendiente. Dichas variables son sensibles a fenómenos que ocasionan cambios externos y alteraciones en las mismas.

Está pronosticado que los efectos negativos del cambio climático afectarán a las poblaciones con menos capacidad de adaptación, provocando la necesidad de mejorar el rendimiento en la agricultura para lograr así seguridad alimentaria y reducir la pobreza (Thornton 2014). La adaptación únicamente es posible, si las predicciones climáticas globales se desglosan a niveles locales, para dar a los agricultores una dirección sobre como mitigar los daños y desarrollar estrategias de adaptación, además de proporcionar información detallada sobre la magnitud de los efectos del cambio climático (Schmidt *et al.* 2012).

Daños irreversibles a la agricultura, como la desertificación de suelos y las reducciones en disponibilidad hídrica podría crear escasez generalizada, trastorno económico y malestar social, con graves consecuencias para la seguridad alimentaria mundial (Donlon 2014). Se entiende por seguridad alimentaria, la capacidad que puede tener una población de mantener una dieta variada que proporcione los requerimientos mínimos diarios a lo largo del año, lo cual es un aspecto clave para el crecimiento del país y de la región. En Centro América, específicamente en Honduras, la frontera agrícola ha llegado a su límite, para incrementar la productividad es indispensable el mejoramiento de los sistemas de producción para obtener mejores rendimientos vía una producción más sostenible, que se adapte al cambio climático y que reduzcan la inseguridad alimentaria y la variabilidad entre cosechas (Gigena 2004).

Desde épocas precolombinas, el sistema de producción de maíz y frijol es el más importante sistema productivo agrícola en Centroamérica. Más de un millón de familias rurales que se dedican a la agricultura dependen del cultivo de maíz y/o frijol para su subsistencia. Dichos granos básicos constituyen la base de la dieta diaria en la región, además de ser parte integral de la cultura centroamericana (Schmidt *et al.* 2012).

El sistema de producción en Centroamérica comprende 2,4 millones de ha: 1,8 millones de hectáreas de maíz y alrededor de 600,000 hectáreas de frijoles, con una producción global de 3 millones de toneladas de maíz y 475 mil toneladas de frijol anualmente. El consumo anual de maíz es de 170 kg/persona y el de frijol es más de 25 kg/persona (CEPAL 2005.) La agricultura en zonas rurales de la región se lleva a cabo en su mayoría

por familias de pequeños agricultores en fincas con un área promedia de 3,5 ha. La productividad es baja en comparación a estándares mundiales, con un promedio de 1,5 t/ha. de maíz y 0,7 t/ha. de frijoles. Los pequeños agricultores invierten más de 120 millones de días de trabajo por temporada en la producción de maíz y frijol (IICA 2007).

En Honduras la actividad agraria es la principal fuente de divisas para el país, principalmente los cultivos de exportación que son los que sustentan la economía como banano, café, caña, tabaco, melón y camarón. El sector agrario genera alrededor de la cuarta parte del producto interno bruto, el 65% de las exportaciones y emplea del orden del 70% de la población económicamente activa (Gigena 2004). La producción de granos básicos está enmarcada en dos épocas principales debido a la distribución de las lluvias, la de “primera” la cual abarca desde abril hasta agosto, en la cual se siembra maíz y la de “postrera” que va desde septiembre hasta enero y se aprovecha para producir granos de ciclo más corto como el frijol (Gigena 2004).

El buen rendimiento en las cosechas es afectado por variables como los escasos recursos e insumos de los agricultores, la falta de acceso al crédito, las malas condiciones de trabajo de los agricultores, la inesperada distribución de la precipitación, los factores ambientales extremos, y la poca tecnología apropiada para hacer frente a estaciones de sequía o épocas lluviosas ocasionadas por el cambio climático y su variabilidad. Otra problemática es que los agricultores carecen de recomendaciones técnicas o medidas de alerta temprana de cómo contrarrestar o adaptar su producción al efecto negativo de los cambios climáticos, como pueden ser prácticas agrícolas diferentes.

Como herramienta para la toma de decisiones en el sector agrícola hoy en día existen modelos de simulación de crecimiento de cultivos y de su productividad como AquaCrop, Cropwat, y DSSAT. Los modelos de simulación de cultivo son una alternativa para predecir su comportamiento en lugares con diferentes condiciones y ambientes. Estos modelos de simulación en las actividades agrícolas han sido desarrollados básicamente con tres propósitos: para ayudar a entender fenómenos dentro de un sistema, como herramienta de investigación, y para monitorear el crecimiento y desarrollo de los cultivos a nivel comercial (Hijmans *et al.* 2001).

El modelo de simulación de cultivos DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) es una herramienta importante de investigación y apoyo para la toma de decisiones en la transferencia de agrotecnología desde el año 1982 (Y.Tsuji *et al.* 1994). Es utilizado también para evaluar y predecir los efectos del cambio climático en los cultivos una vez que ensayos de campo se han realizado durante varios ciclos de cultivo y los resultados en el modelo son calibrados. Con base en esto se puede dar recomendaciones para estrategias de adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático, para así tomar decisiones correctas a nivel local, nacional y regional en cuanto a una producción sostenible.

Alrededor del mundo en países como Bulgaria (Alexandrov *et al.* 2000), Tailandia (Felkner *et al.* 2009), España (Iglesias 2006), el norte de China (JIN 2008), Sur África (Kiker 2000), y Venezuela (Warnock *et al.* 2005) entre otros, se ha calibrado el modelo DSSAT simulando a largo plazo cómo las consecuencias potenciales de los efectos del

cambio climático afectarán la productividad del cultivo, comparando los resultados de las parcelas que se evaluaron en campo, con los resultados simulados por el modelo.

Entre los estudios más importantes en el 2009 en Washington D.C., Estados Unidos se reportó los efectos biológicos directos de dos escenarios vulnerables al cambio climático en rendimientos de cultivo modelados directamente con DSSAT, para cultivos de secano y cultivos con riego en países desarrollados y en vía de desarrollo, con y sin fertilización. Estos ensayos se desarrollaron para diferentes cultivos alrededor del mundo en intervalos de 0.5 grados con el clima del año 2000, cultivándolos nuevamente con los valores del año 2050 y luego calculando la relación entre ambos. Esta fue la primera vez que se realizó una modelación detallada de crecimiento y desarrollo de cultivos influenciado por el cambio climático con puntos de vista de un modelo extremadamente detallado de agricultura mundial. Los resultados mostraron que la agricultura será afectada negativamente por el cambio climático, los rendimientos de los cultivos declinarán y la producción será afectada (IFPRI 2009).

En el presente proyecto se desarrollaron ensayos de evaluación de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad Amadeus 77 a lo largo de un ciclo de cultivo en la Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano ubicada en el Valle del Yeguaré y en la comunidad El Guayabo en la microcuenca Santa Inés, ubicada en los departamentos de Francisco Morazán y El Paraíso, Honduras para posteriormente aplicar el programa DSSAT y comparar los resultados simulados con los obtenidos en campo en dichos ensayos.

El objetivo general del estudio fue predecir la productividad del cultivo de frijol variedad Amadeus 77 en la microcuenca Santa Inés y en Zamorano mediante el modelo DSSAT como herramienta para futuras aplicaciones en la predicción de impactos productivos derivados de la variabilidad y el cambio climático.

El estudio contó con los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los elementos climáticos relevantes a la productividad del cultivo de frijol tales como la precipitación, altura, y la temperatura en la comunidad El Guayabo y en Zamorano.
- Caracterizar los elementos edafológicos y de manejo del cultivo que condicionan la productividad (desarrollo y rendimiento) del cultivo de frijol.
- Evaluar los rendimientos en parcelas construidas dentro de la microcuenca, en la comunidad El Guayabo y en el valle de Zamorano.
- Comparar los resultados de campo con las predicciones del modelo DSSAT.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los sitios de estudio. El estudio se desarrolló en el periodo comprendido entre el 13 de Junio hasta el 6 de Septiembre del año 2014 en dos parcelas experimentales en la región oriental de Honduras, en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán (Figura 1). La primera parcela experimental se localizó en la comunidad de El Guayabo en la microcuenca Santa Inés a 1397 msnm. La precipitación anual en la zona es de 1.354 mm, y su temperatura media de 23°C (Sánchez 2011). Los suelos predominantes son derivados de la actividad volcánica con texturas arenosas, alta conductividad hidráulica y bajo potencial de erosión (Acosta y Kucharsky 2012).

La segunda parcela experimental se localizó en la zona conocida como Monte Redondo en el campus de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano a una elevación de 800 msnm. El campus está ubicado en un bosque seco tropical, con una temperatura media por encima de 17°C y una precipitación anual promedio de alrededor de 1100 mm (Izurieta 2004). En el lugar de estudio predominan suelos franco arcillosos, suelos jóvenes que no poseen horizontes bien desarrollados (Velásquez 2007).

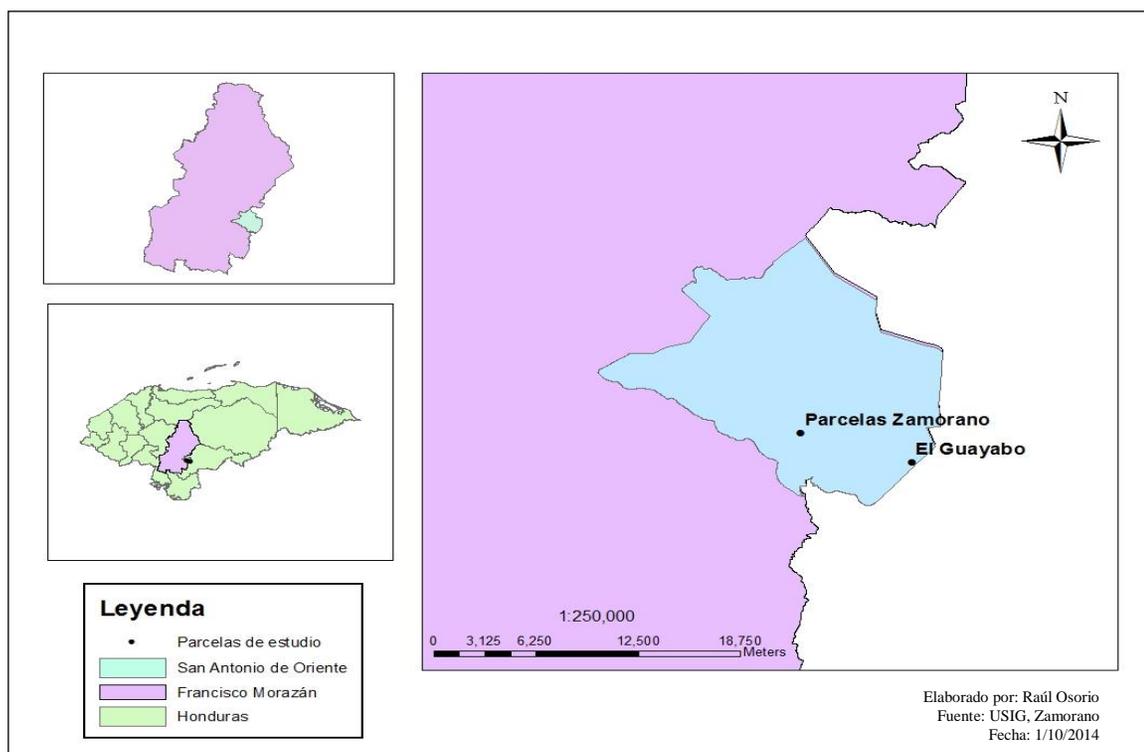


Figura 1. Localización del área de estudio, Honduras, 2014.

Insumos requeridos para calibrar DSSAT. DSSAT es un modelo de proceso extremadamente detallado de la evolución diaria de una variedad específica de un cultivo, desde la siembra hasta la cosecha. Se requieren datos climatológicos diarios, incluyendo la temperatura máxima y mínima, la radiación solar y la precipitación; una descripción del suelo, características físicas y químicas del campo, la variedad del cultivo, la fecha de siembra, el espaciamiento de las plantas, y los insumos tales como fertilizantes y riego (IFPRI 2009). El modelo utiliza el conocimiento detallado de la bioquímica de los cultivos, su fisiología y agronomía para simular el equilibrio hídrico de los mismos, su fotosíntesis, crecimiento y desarrollo diario (Schmidt *et al.* 2012). El modelo requiere de tres niveles de datos, los cuales se describen a continuación.

Datos Nivel 1: Datos climatológicos requeridos (diariamente). El modelo utilizó valores diarios de temperaturas máximas y mínimas, precipitación, el total de la radiación solar, la temperatura, humedad relativa, y la velocidad del viento. Para este fin en abril del 2014, se instaló en la comunidad El Guayabo a una altura de 1397msnm, una estación climatológica marca Davis 2 Pro®, la cual registra estos valores en intervalos de 30 minutos. Asimismo en mayo del 2014 en el sitio de Monte Redondo se instaló un pluviómetro marca (Hoboware-Onset Tipping bucket) en las coordenadas 13°59'46.19" latitud Norte; 86°59'22.13" longitud Oeste; . El resto de los datos climatológicos se completaron con los de otra estación localizada en el campus Central de Zamorano Vantage 2 Pro® a una distancia aproximadamente de 3 km del sitio del ensayo.

Datos de Suelo. El modelo requirió información superficial del suelo: taxonomía, pendiente, color, pedregosidad (%), textura y descripción de cada horizonte del suelo en el que las raíces tienen posibilidad de crecer. Asimismo se evaluó el contenido de carbono orgánico del suelo, la densidad aparente deseable, límite inferior del cual la planta extrae agua del suelo o punto de marchitez permanente y el límite superior del punto drenado o la capacidad de campo.

Se investigó la información previa del terreno como la historia del cultivo anterior, para la simulación del balance de carbono orgánico del suelo. Las condiciones iniciales del perfil del suelo como ser contenido de humedad y de nutrientes iniciales (NO₃-1, NH₄+1, P) frente a la profundidad. El modelo demanda según el estudio los residuos superficiales antes o durante la siembra: el tipo de cultivo o tipo de abono (estiércol), la cantidad total en peso seco, % de N y C% (% P) contenido, profundidad, incorporación de abono y % de incorporación. Para obtener estos valores se realizaron dos calicatas de un metro de profundidad en la comunidad de El Guayabo y en la terraza baja de Zamorano.

Parámetros como la humedad y la temperatura del suelo fueron medidos con sensores de humedad únicamente instalados en la estación climatológica ubicada en la comunidad El Guayabo. En Zamorano se colectaron tres muestras semanales de suelo en diferentes puntos de las parcelas y se siguieron protocolos para análisis físico-químicos de suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los métodos para el análisis de parámetros físicos y químicos del suelo en El Guayabo y Zamorano, Honduras, 2014.

Parámetro	Descripción	Frecuencia	Referencia
Características Físicas del Suelo	Calicata de un metro de profundidad En El Guayabo y de medio metro de profundidad en Zamorano.	Un muestreo por sitio.	Arévalo y Gauggel 2012
% Arena, % Limo, % Arcilla	Se analizó con el método de Bouyoucus o del hidrómetro basado en la ley de Stokes.	Un análisis por sitio	Arévalo y Gauggel 2012
Carbono Orgánico	Se analizó con el método de Walkley-Black.	Un análisis por sitio.	Arévalo y Gauggel 2012
Nitrógeno Total	Se analizó con el método Kjendal.	Un análisis por Sitio.	Arévalo y Gauggel 2012
Fósforo Total	Extraído con la solución Mehlich III. La concentración fue determinada en el espectrofotómetro.	Un análisis por Sitio.	Arévalo y Gauggel 2012
Potasio Total	Extraído con la solución Mehlich III. La concentración fue determinada con el aparato de absorción atómica por espectrometría.	Un análisis por Sitio.	Sparks 1996

Manejo del Cultivo. El modelo requiere datos sobre la plantación del cultivo: fecha de siembra, distancia entre plantas o densidad, características de la cosecha y el nombre de la variedad del cultivo y sus características, material y tipo de siembra. Asimismo requiere información acerca de la cantidad de riego y el momento de la aplicación del riego, cantidad y tipo de fertilizantes utilizados, fecha en la que se aplicó el fertilizante, la profundidad de aplicación y el método de aplicación. La cantidad de abono orgánico o de residuos si se hubiesen aplicado, la composición, cómo se aplicó, cómo fue la incorporación, a qué profundidad y el método de aplicación. Cantidad y tipo de productos químicos aplicados y con qué objetivos se aplicó.

Se sembró frijol *Phaseolus vulgaris* (Amadeus 77) a doble hilera por cama con una densidad de siembra de 250,000 plantas por hectárea. Las camas tuvieron dos hileras de frijol con 20 cm de separación entre hilera. La distancia de siembra fue de aproximadamente 8 cm entre planta. La variedad Amadeus 77 fue desarrollada en 1995 en la Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano a partir de la cruce simple Tío Canela 75 x DICTA 105. Es una variedad altamente resistente al virus del mosaico dorado amarillo y al virus del mosaico común, es de resistencia intermedia a la bacteriosis común y la roya, y también al picudo de la vaina y gorgojos de almacén. Amadeus 77 ha sido seleccionado por su alta adaptación al calor, y por ende, se recomienda para zonas bajas costeras donde predominan las altas temperaturas. Su tolerancia a la sequía y al exceso de humedad es intermedia. Por otro lado, se adapta a condiciones variables de fertilidad de suelo y responde a la aplicación de fertilizantes e incorporación de materia orgánica al suelo, incrementando su rendimiento significativamente. Es una variedad precoz a intermedia, de hábito arbustivo indeterminado tipo II y de madurez temprana, cuya floración ocurre a los 36-38 días después de la siembra (DDS) y su madurez fisiológica a los 66-68 DDS.

Amadeus 77 tiene una semilla de color rojo claro brillante, de forma ovoide alargada y un peso individual de 0,25g (Rosas 2004).

En la parcela experimental ubicada en la comunidad El Guayabo se instaló un sistema de riego por goteo, el cual aplicó 1.66 mm/día de agua por ha. En la parcela experimental ubicada en Zamorano se utilizó un sistema de riego por goteo el cual aplicó 4.3 mm/día de agua por ha. Es importante mencionar que el sistema de riego se instaló cuando el cultivo atravesaba su etapa de madurez fisiológica. Se suspendió el riego en días con precipitación en las dos localidades.

En El Guayabo se establecieron dos parcelas de 100 m² cada una. Cada parcela se conformó de 12 camas de cinco metros de longitud, 40 cm de ancho y un m de distancia de surco a surco. Mientras que en Zamorano las dos parcelas tuvieron 200 m² cada una. Cada parcela se conformó de doce camas de 6 m de longitud y 50 cm de ancho y 1 m de distancia de surco a surco. En los dos sitios las camas se ubicaron en dos bloques separados por un camino. El estudio siguió las técnicas de plantación y cuidado empleados por los agricultores locales, manteniendo condiciones óptimas en cuanto a manejo de plagas y suministro de agua.

En los dos sitios hubo cuatro repeticiones cada una de tres camas. Los tratamientos incluyeron la aplicación o no de fertilizante en cada lugar. En el tratamiento donde se aplicó fertilizante, se fertilizó 15 días después de la siembra, cuando el cultivo estaba en crecimiento vegetativo. Siguiendo las recomendaciones de Rosas (2004), se aplicó 95.5 kg/ha de fertilizante 18-46-0 y Urea 73.5 kg/ha, al momento del aporque el día 36 después de la siembra. Los estudios de Rosas (2004) recomiendan que se aplique 7.092 qq/ha de Urea.

El día 23 se fumigaron las dos parcelas con 1.25×10⁻³ v/v del plaguicida Karate Zeon etiqueta amarilla según las recomendaciones del fabricante. Karate Zeon es un insecticida piretroide de amplio espectro de acción, especialmente indicado para el control de larvas y adultos de insectos masticadores y picadores chupadores en cultivos bajos.

Datos Nivel 2: Medidas de respuesta de los cultivos y suelos. El modelo requirió detalles de los tratamientos. Entre otros datos tomados, estuvieron los componentes: fecha de floración y la fecha de maduración, fecha de primera semilla o grano de primera, el rendimiento de grano (kg.ha⁻¹), la densidad de plantas a cosecha, el número y peso de vainas cosechadas y la salud general de la cosecha (Hoogenboom *et al.* 2012).

Datos Nivel 3: Mediciones de análisis de crecimiento. Se realizaron mediciones de crecimiento del cultivo considerando: número hojas, tallos, semillas y vainas por planta, el número de los principales nudos de los tallos u hojas, y el índice de área foliar. Se realizaron observaciones generales del cultivo como la presencia de malezas y su manejo. Se documentó si las malezas afectaban las condiciones del cultivo, observaciones acerca de las plagas y la aparición de enfermedades, incluyendo la fecha de la intensidad de la infección, y el daño. El modelo igual requirió de parámetros medidos en laboratorio como carbono orgánico del suelo (%) para las capas del suelo a la profundidad de

enraizamiento. El nitrógeno total del suelo podría ser útil para ayudar a determinar el C:N. P total y P Orgánico para las dos capas superiores del suelo (Hoogenboom *et al.* 2012).

La primera toma de datos se realizó el día 23 durante el crecimiento vegetativo cuando las plántulas tenían una altura mínima de siete centímetros. Se escogieron tres plantas al azar de la cama central de cada repetición en los dos tratamientos y se midió la longitud de la planta, la longitud de la primera hoja, número de hojas y de ramas, además de la densidad de siembra. Durante esta etapa fenológica se determinó la presencia de malezas y su impacto en el cultivo, tomando en cuenta la cantidad de malezas sobre la cama. La presencia de malezas fue baja sin impacto en el cultivo. La maleza aproximadamente cubría un 10% de la superficie de la cama. Las plagas presentes más comunes fueron: Mosca Blanca (*Bemisia T*), Mayas (*Diabrotica Spp*), y Gallina Ciega (*Phyllopaaga spp*).

A partir del día 23 la toma de datos se realizó cada ocho días, y se recolectaron muestras entre cinco y siete plantas al azar de la cama de muestreo. Una vez recolectadas las muestras en campo, se llevaron al laboratorio donde se contaron, separaron y trituraron hojas, tallos, raíces, flores vainas y semillas respectivamente en cada etapa fenológica del cultivo (crecimiento vegetativo, floración (36-38 días después de la siembra) y madurez fisiológica a los 66-68 días). Posteriormente se colocaron muestras representativas de la materia vegetal en crisoles. Se pesó la materia vegetal en los crisoles y posteriormente fueron colocados en el horno a 105°C durante 12 horas para determinar la materia seca. Posteriormente se colocaron las muestras en la mufla a 600°C durante dos horas y treinta minutos para medir sólidos volátiles (APHA 2005). La toma de muestras para el análisis de sólidos volátiles y materia seca se realizó cada etapa del cultivo de frijol.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clima. Durante el ciclo del cultivo, existió mayor precipitación En el Guayabo que en Zamorano (Figura 2). En El Guayabo se registró una precipitación total de 585 mm y en Zamorano la precipitación total fue 437mm. Esto debido la ubicación y condiciones geográficas de los lugares y las diferencias altitudinales. El Guayabo por estar a mayor altitud (1397 msnm) que Zamorano (800 msnm) es propenso a mayor precipitación.

Durante el presente año las condiciones de precipitación fueron menores en comparación con los promedios históricos. Este año (2014) hubo una prolongada sequía en mayo y julio, debido a la ocurrencia del Fenómeno del Niño que se manifestó en la región Centroamericana con incrementos de temperatura y reducción la precipitación en la cuenca del Pacífico. Las fluctuaciones de este fenómeno meteorológico son irregulares, con tendencia de aparecer entre cada tres a seis años. A diferencia de Sudamérica en donde el fenómeno de El Niño trae abundantes lluvias, en Centroamérica se manifiesta con reducciones en la precipitación. Un clima caluroso contribuye al incremento en la frecuencia e intensidad del fenómeno de El Niño, como ocurrió en esta región (McCarthy 2001).

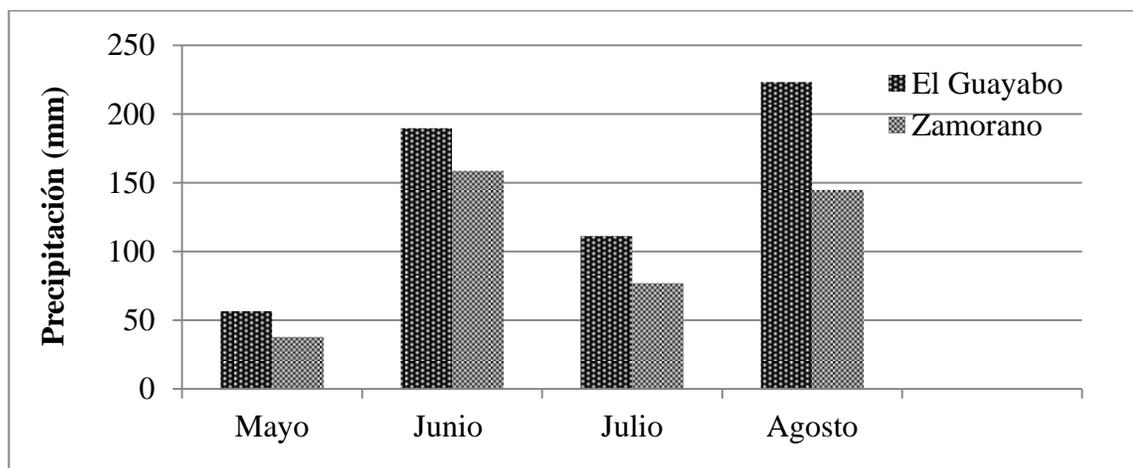


Figura 2. Precipitación en las parcelas El Guayabo y Zamorano durante el periodo de estudio, Honduras, 2014

La planta de frijol crece bien en temperaturas promedio de 15 a 27 °C. Las temperaturas bajas retardan el crecimiento del frijol, mientras que altas temperaturas lo aceleran y brinda condiciones más favorables en su desarrollo (Betancourt et al 2003). Durante el ciclo del cultivo, se registraron mayores temperaturas en Zamorano que en El Guayabo (Figura 3). En el Guayabo la temperatura media durante el estudio fue 19.9 °C y en Zamorano la temperatura media fue 23.4 °C. Esto debido a la ubicación y condiciones geográficas de los lugares. El Guayabo por estar a mayor altitud (1397 msnm) se caracteriza por temperaturas más bajas en comparación con Zamorano (800 msnm) caracterizado por mayores temperaturas. Este año las temperaturas fueron superiores a los promedios históricos, como consecuencia del fenómeno de El Niño. Las temperaturas calurosas en el Pacífico ecuatorial, disminuyen la diferencia normal de la temperatura de la superficie del mar, entre los extremos orientales y occidentales del Pacífico, que afectan los patrones del viento, provocando un incremento en la temperatura de la región, lo cual desencadenó una sequía este año (McCarthy 2001).

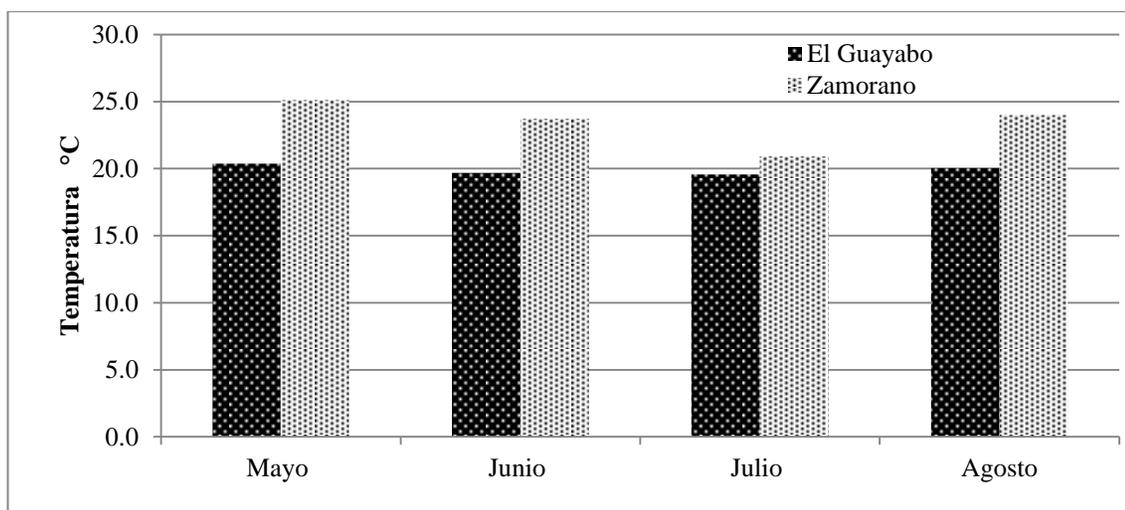


Figura 3. Temperatura en las parcelas El Guayabo y Zamorano, Honduras, 2014.

De igual forma, durante el ciclo del cultivo, existió mayor radiación solar (MJ m²/día) en Zamorano que en el sitio del Guayabo (Figura 4). En el Guayabo la radiación solar media total fue 14.16 (MJ m²/día) y en Zamorano la radiación solar media total fue 18.21 (MJ m²/día) debido a la ubicación y las condiciones geográficas de los lugares. Biebel (1972) indica que la mayoría de las respuestas morfológicas de las plantas de *Phaseolus vulgaris* aumentan a una tasa creciente con incrementos en energía radiante incidente.

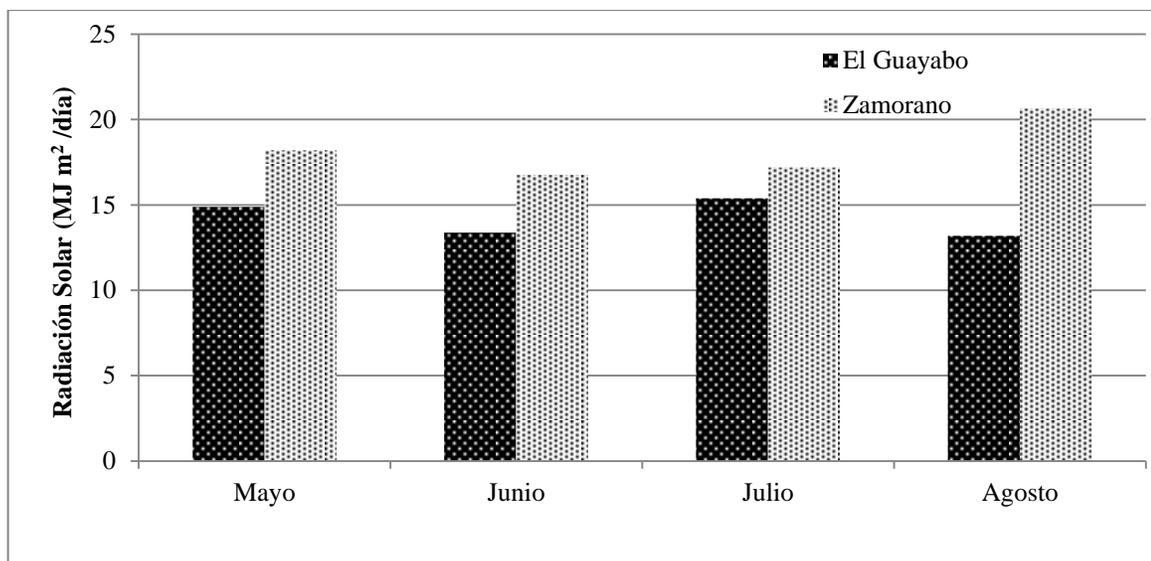


Figura 4. Radiación Solar en las parcelas El Guayabo y Zamorano, Honduras, 2014

Suelos. Como en cualquier otro cultivo el desarrollo vegetativo está relacionado con el tipo de suelos en que se encuentra. Salinas (1976), menciona que existe diferencia significativa en el desarrollo del frijol, debido a la variabilidad del tipo de suelos. Asimismo el cultivo de frijol se adapta fácilmente a diferentes tipos de suelo, especialmente a las texturas franco arcilloso-limoso. Un buen drenaje superficial e interno, en combinación con suelos profundos y valores de pH entre 5.5 y 6.5, benefician el desarrollo del frijol. En la parcela demostrativa de Zamorano, se alcanzaron condiciones similares a las descritas por Salinas, obteniendo valores con texturas franco arcillo arenosas lo cual estimuló un desarrollo idóneo para el cultivo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis físico del suelo en las parcelas ubicadas en Zamorano, Honduras, 2014.

Horizonte	Textura	% Carbono	% Arena	% Limo	% Arcilla
1A	Franco Arcillo Arenoso	2.17	62.00	15.00	25.00
1B	Franco Arcillo Arenoso	2.17	62.00	15.00	25.00

En el Guayabo los suelos son más limosos por separado de acuerdo a los muestreos (calicatas) realizadas, siendo suelos con menor aptitud por la baja retención de humedad para el desarrollo idóneo del frijol (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis Físico del suelo en las parcelas ubicadas en El Guayabo, Honduras, 2014.

Horizonte	Textura	%Carbono	%Arena	%Limo	%Arcilla
A	Franco Limoso	2.71	18.00	70.00	12.00
B	Limoso	4.39	5.00	90.00	5.00
C	Arcillo Limoso	1.84	5.00	50.00	45.00

Mayasa (1969) indica que la absorción de nitrógeno ocurre durante todo el ciclo vegetativo, pero es mayormente absorbido durante la época de floración de la planta e inicio de la formación de la semilla. En Zamorano debido a que la floración se adelantó, las plantas asimilaron más el fertilizante aplicado (Cuadros 4). Esto en conjunto con los factores climáticos del sitio resultó en mayor productividad en Zamorano a pesar del menor contenido de nitrógeno en el suelo.

Cuadro 4. Análisis Químico del suelo en las parcelas ubicadas en Zamorano. g/100g (%), Honduras, 2014

Horizonte	Carbono Orgánico Total	Nitrógeno Total	Fósforo	Potasio
Ap	5.90	0.61	0.04	0.55
Ad	6.60	0.36	0.02	0.67

El suelo de El Guayabo tuvo valores más altos de nitrógeno (Cuadro 5) que los suelos de Zamorano. Es importante mencionar que el fertilizante en El Guayabo se aplicó durante el crecimiento vegetativo, etapa en la cual la planta no asimila tan bien el fertilizante como en la etapa de floración.

Cuadro 5. Análisis Químico del suelo en las parcelas ubicadas en El Guayabo. g/100g (%), Honduras, 2014

Horizonte	Carbono Orgánico Total	Nitrógeno Total	Fósforo	Potasio
A	7.15	1.25	0.05	0.40
B	11.56	1.25	0.04	0.34
C	4.86	0.68	0.02	0.17

Desarrollo del cultivo. El desarrollo del frijol varió según el sitio. En el Guayabo el crecimiento vegetativo empezó 23 días después de la siembra, y duró 14 días. La floración duró 19 días e inició el día 37 después de la siembra. El frijol entró a madurez fisiológica el día 65 y duró 12 días hasta el día 77 en el que se cosechó. En Zamorano hubo estrés hídrico ocasionado por la sequía en este año mencionada anteriormente pese a la instalación del sistema de riego en etapas posteriores, y las condiciones climáticas, por lo

tanto la floración del frijol se adelantó 7 días en comparación a El Guayabo. El crecimiento vegetativo empezó 20 días después de la siembra, y duró por 10 días. La floración duró 19 días y empezó el día 30 después de la siembra. El frijol entró a madurez fisiológica el día 49 y duró 9 días hasta el día 65 en el que se cosechó (Figuras 5)

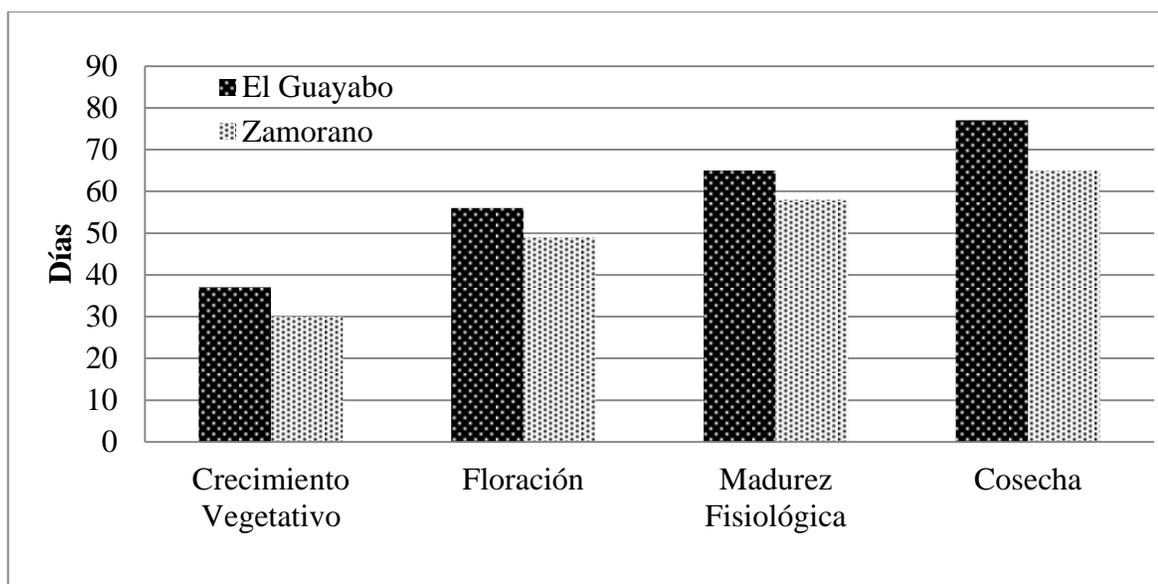


Figura 5. Desarrollo del cultivo El Guayabo y Zamorano de acuerdo a sus etapas fenológicas, Honduras, 2014

Rendimiento del cultivo. Betancourt (2003) se menciona que factores como la variedad del cultivo, las prácticas agrícolas (fecha de siembra, densidad de siembra, profundidad de siembra, labores del cultivo, fertilización, manejo fitosanitario, relación con otros cultivos) y el medio ambiente (temperatura, luminosidad, suelo, altura, agua disponible en el suelo) son muy influyentes en el rendimiento del mismo. Comparado con lo observado en campo el rendimiento del cultivo fue afectado por las mismas variables mencionadas en dicho estudio. El rendimiento en El Guayabo para el tratamiento sin fertilizante fue 46.3 kg/ha y en el tratamiento con fertilizante fue 103.42 kg/ha. En Zamorano el rendimiento del tratamiento sin fertilizante fue 288.78 kg/ha y el tratamiento con fertilizante tuvo un rendimiento de 318.82 kg/ha. La fertilización nitrogenada en los cultivos es una práctica común e importante para los productores porque corrige las deficiencias nutricionales de la plantas (FAO 1999). El nitrógeno favorece el buen desarrollo vegetativo y mejora el rendimiento y la calidad de los productos en comparación a los ensayos no fertilizados en su estudio. La variedad Amadeus 77 responde muy bien a la fertilización del suelo la cual fue utilizada en este estudio.

Aplicación del modelo DSSAT. Los resultados de clima, suelo y manejo de cultivos antes expuestos se introdujeron en el modelo DSSAT Versión 4.5, con base en los cuales el modelo realizó una predicción de las etapas fenológicas y el rendimiento. Según las condiciones óptimas simuladas por el modelo, la etapa de floración y la madurez fisiológica en el Guayabo para los dos tratamientos debía iniciar dos días después a lo

observado en campo, mientras que en Zamorano para el tratamiento con fertilizante y de acuerdo las condiciones óptimas simuladas la floración debía iniciar tres días antes, y el tratamiento sin fertilizante la floración tenía que iniciar 11 días antes (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de los fechas de inicio de la etapa de Floración de Amadeus 77, Honduras, 2014.

	Guayabo Con Fertilizante	Guayabo Sin Fertilizante	Zamorano Con Fertilizante	Zamorano Sin Fertilizante
Observado	21 Julio	21 Julio	1 Agosto	1 Agosto
Simulado	23 Julio	23 Julio	28 Julio	21 Julio
Diferencia	(+2 días)	(+2 días)	(-3 días)	(-11 días)

Con respecto a la madurez fisiológica en Zamorano para el tratamiento con fertilizante y de acuerdo las condiciones óptimas simuladas la madurez fisiológica debían iniciar un día después, y el tratamiento con fertilizante la madurez fisiológica tenía que iniciar seis días antes (Cuadro 7). El modelo simula la duración del ciclo del cultivo consistente con lo ocurrido en campo. Los resultados de la fenología fueron los más válidos en este estudio.

Cuadro 7. Comparación de los fechas de inicio de la de Madurez Fisiológica del Amadeus 77, Honduras, 2014.

	Guayabo Con Fertilizante	Guayabo Sin Fertilizante	Zamorano Con Fertilizante	Zamorano Sin Fertilizante
Observado	18 Agosto	18 Agosto	20 Agosto	20 Agosto
Simulado	20 Agosto	20 Agosto	21 Agosto	14 Julio
Diferencia	(+2 días)	(+2 días)	(+1 día)	(-6 días)

Los resultados de rendimiento simulados por el modelo en este ciclo de siembra mostraron una sobreestimación del rendimiento de frijol después de correr el modelo DSSAT en ambos escenarios. Hubo menos diferencia en valores de rendimiento entre lo observado en campo y lo simulado por el modelo en la parcela experimental de Zamorano (Cuadro 8) Una de las limitantes en la producción de frijol fueron las plagas. Las plagas presentes más comunes fueron: Mosca Blanca (*Bemisia T*), Mayas (*Diabrotica Spp*), y Gallina Ciega (*Phyllophaga spp*). El modelo DSSAT en este estudio sobreestimó el rendimiento del frijol debido a que a la producción en campo es muy baja en comparación al promedio normal que es 678 kg/ha. También porque la radiación solar el factor más importante para el desarrollo de la planta es muy baja y esto hace que el nitrógeno no sea un valor determinante en la producción simulada. Además el modelo no simula el efecto de las plagas en el rendimiento al no tomar en cuenta esta variable. Amadeus 77 se desarrolla mejor en climas más cálidos donde la temperatura y la radiación solar es mayor como en Zamorano ubicado en un valle, y no en sitios como El Guayabo con menores

temperaturas y menor radiación solar (Rosas 2014¹). Para obtener resultados más validos respecto a predicciones de rendimiento es necesario más de cuatro puntos experimentales durante cinco o seis épocas de siembra, correspondientes a dos años de estudio.

Cuadro 8. Comparación del Rendimiento (kg/ha) de Amadeus 77 en los sitios de estudio, Honduras, 2014

	Guayabo Con Fertilizante	Guayabo Sin Fertilizante	Zamorano Fertilizante	Zamorano Sin Fertilizante
Observado	103	46	318	288
Simulado	576	463	397	328
Diferencia	473	417	79	40

¹ Rosas, J. 2014. Amadeus 77. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Comunicación personal.

4. CONCLUSIONES

- Los resultados de la predicción del modelo son útiles para la planificación de la siembra del cultivo al obtener adecuados resultados simulados respecto a etapas fenológicas, más no para la toma de decisiones de rendimiento al no simular valores cercanos a los obtenidos en campo, ya que las condiciones del presente ensayo por en esta etapa inicial no permiten estas estimaciones.
- Durante el periodo de estudio, tanto en Zamorano como en El Guayabo, las temperaturas y precipitaciones medidas en campo fueron inusuales a lo que normalmente se espera como consecuencia del fenómeno de El Niño. Las temperaturas fueron mayores y hubo una reducción en la precipitación y un desfase en el inicio de la temporada lluviosa y la canícula. Los factores climáticos más relevantes para determinar la productividad del cultivo de frijol Amadeus 77 en la comunidad El Guayabo y en Zamorano fueron la temperatura y la radiación solar. En Zamorano donde se alcanzó una mayor productividad hubo mayor temperatura y radiación, mientras que en El Guayabo donde se obtuvo una menor producción hubo mayor altura y menor temperatura media pese a que las condiciones de fertilización y manejo hídrico fueron óptimas.
- Amadeus 77 se desarrolló mejor en los suelos francos arcillo arenosos de Zamorano, a pesar de que hubo menos nitrógeno en el suelo en comparación a El Guayabo, el cultivo asimiló mejor el fertilizante en Zamorano ya que se aplicó en la etapa de floración, etapa en la cual el cultivo asimila mejor el nitrógeno.
- Las condiciones climáticas de la fecha de siembra afectaron el desarrollo del cultivo. En El Guayabo se cosechó 15 días antes del inicio de la temporada lluviosa, por lo tanto en Zamorano se aprovechó el aumento de precipitación durante los últimos 15 días de desarrollo del cultivo antes de su cosecha.
- A pesar de que el modelo DSSAT simula una productividad mayor del cultivo en condiciones óptimas en El Guayabo, lo observado en campo fue lo contrario, obteniendo mayor productividad en Zamorano. Esto debido a que en El Guayabo el modelo simuló que no hubo estrés de agua ni de nitrógeno en suelo, a diferencia de lo simulado por el modelo en Zamorano. La variedad seleccionada no se desarrolla de forma óptima bajo las condiciones de El Guayabo, por lo tanto DSSAT no simuló rendimientos cercanos a las observaciones en campo.

5. RECOMENDACIONES

- En una etapa posterior del presente estudio, realizar un mayor número de ensayos bajo condiciones óptimas en diferentes épocas de siembra para obtener resultados válidos de rendimiento. A partir de esta información se deberá continuar con la aplicación del modelo y su calibración para poder los resultados de la calibración con escenarios de cambio climático, y dar recomendaciones de alerta temprana para estos escenarios.
- Compartir la información climatológica dentro de Zamorano siendo más accesible para las unidades de producción, y para el cuerpo estudiantil con fines académicos. Informar a las comunidades aledañas sobre esta información para que tomen medidas de alerta temprana y realicen una planificación de siembra acorde a los pronósticos estacionales.
- Recurrir a prácticas culturales en futuros ensayos, tales como fechas de siembra adaptadas a las condiciones estacionales del año recurrente para que la planta tenga las condiciones más favorables en su desarrollo ya que variables como la altura, luz y la temperatura no son fáciles de modificar.
- Considerar la reducción de productividad por plagas para evitar la sobreestimación del rendimiento del cultivo por parte de la simulación en DSSAT. Repetir el ensayo en condiciones apropiadas y controladas sobre todo en épocas de siembra óptimas.
- Calibrar estos modelos en cultivos de importancia económica para Zamorano (chile, cebolla, lechuga, tomate, yuca).

6. LITERATURA CITADA

Acosta, A., y O. Kucharsky. 2012. Estudio Edafológico y de Cobertura para la modelación Hidrológica con el modelo Swat de la Microcuenca Santa Inés, Honduras. Francisco Morazán, Honduras: EAP Zamorano.

Alexandrov, V. G. Hoogenboom. 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria (en línea). Consultado el 3 de octubre de 2014. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192300001660>

APHA (American Public Health Association). 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20a ed. American Public Health Association. Washington, EUA. 1,325 p.

Schmidt et.al. 2012. Catholic Relief Services. Recuperado el 21 de Mayo jde 2014, de Tortillas on the Roaster: <http://www.crsprogramquality.org/storage/pubs/agenv/climate-change-maize-beans-full-report.pdf>

Biebel , J.1942. Some effects of radiant energy in relation to etiolation. Plant Physiology 17(3): 377-396. (en línea). Consultado el 22 de Octubre de 2014. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2773E/A2773E.PDF>

Donlon, D. 2014. Center For Food Safety. Recuperado el 20 de Mayo de 2014, de Food and Climate Connecting the Dots: http://www.centerforfoodsafety.org/files/foodclimate_med_32825.pdf

Hoogenboom, G., J. Jones, P. Traore, y K. Boote. 2012. Chapter 2 , Experiments and Data for model evaluation and application. Washington, Florida, Mali: Springer Science+Business Media.

Iglesias, A. 2006 . Use of DSSAT models for climate change impact assessment: calibration and validation of Ceres-Wheat and CERES-Maize in Spain. (en línea). Consultado el 3 de octubre de 2014. Disponible en https://unfccc.int/files/national_reports/nonannex_i_natcom/cge/application/pdf/agriculture.dssatvalidation.pdf

Izurieta, M. P. 2004. Diseño técnico de un jardín botánico del bosque seco tropical en Zamorano. Francisco Morazán: Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

Langbein. et. al. 1995. Science in your Watershed. Recuperado el 22 de Mayo de 2014, de General Introduction and Hydrologic Definition: <http://water.usgs.gov/wsc/glossary.html>

Khan, L., R. Acosta y J.A. Gil. 1998. Bioagro. Recuperado el 22 de Mayo de 2014, de Diseño y funcionamiento de un Lisímetro Hidráulico para medición de la evapotranspiración potencial.

Manueles, A. 2013. Manual Introductorio al programa ArcGis® 9.3. Francisco Morazán , Honduras: EAP Zamorano.

Masaya, P. 1969. Estudio de la absorción de nutrimentos y crecimiento en la planta de frijol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 34p.

McCarthy. 2001. Variability and impacts from El Niño and the Southern Oscillation (en línea). Consultado el 21 de Octubre de 2014. Disponible en: http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg2/522.htm

Neitsch, Arnold, Kiniry y Williams. 2009. Soil and Water Assesment Tool Theoretical Documentation. Texas,Usa: Texas Water Resources Institute.

Ramos, G.1993. Potencial Hídrico de Microcuenca de la Quebrada Santa Inés. Francisco Morazán, Honduras: EAP Zamorano.

Rosas, J. 2004. Nomenclatura de variedades de frijol comun liberadas en Centro América y el Caribe. Agronomía Mesoamericana, 221:224.

Salinas, J. G. 1976. Relaciones suelo-planta que afectan las diferencias entre especies y variedades para tolerar baja disponibilidad de fósforo en el suelo. Ciencia y cultura. 28(2):156-168.

Sánchez, L. H. 2011. Caracterización Hidrológica y Balance Hídrico de la Microcuenca Santa Inés, Honduras. Francisco Morazán,Honduras: EAP Zamorano.

Thornton. 2014. International Food Policy Research Institute (IFPRI). Recuperado el 20 de Mayo de 2014, de How does climate change alter agricultural strategies to support food security: <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp01340.pdf>

Velásquez, D. 2007. Estudio semidetallado de suelos de la parte plana de la Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Honduras. Francisco Morazán: Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

Tsuji, Y., G., Uehara, G., & Balas, S. 1994. DSSAT Version 3. Honolulu,Hawai: University of Hawaii.

Gigena, R. 2004. Estudio del cambio climático y su efecto en la producción de granos básicos. Francisco Morazán: Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2005. Información básica para el sector agropecuario. Subregión norte de América Latina y el Caribe. 1990-2003. LC/MEX/L.656. México.

IICA. 2007. Mapeo de las cadenas agroalimentarias de maíz blanco y frijol en Centroamérica. Proyecto Red Sicta, Managua, Nicaragua. 132 p.

Hijmans, R.J., L. Guarino, M. Cruz y E. Rojas. 2001. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data. 1. DIVA-GIS. Plant Genetic Resources Newsletter, 127: 15–19.

Felkner, J, K. Tazhibayeva y R. Townsend. 2009. Impact of climate change on rice production in Thailand. (en línea) Consultado el 3 de octubre de 2014. Disponible en :<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2809550/>

Kiker, G. 2002. CANEGRO-DSSAT linkages with geographic information systems: Applications in climate change research for South Africa.(en línea) Consultado el 3 de octubre de 2014. Disponible en:
<http://sasex.sasa.org.za/misc/workshop/2000/gakiker2.pdf>

Jin, Z y D. Zhu. 2008. Impacts of changes in climate and its variability on food production in Northeast China. (en línea) Consultado el 3 de octubre de 2014. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875278009600055>

International Food Policy Research Institute (IFPRI). 2009. Recuperado el 20 de Mayo de 2014, de How does climate change alter agricultural strategies to support food security: <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp01340.pdf>

Betancourt, M, J. Dávila y J. Restrepo. 2003. Frijol recomendaciones generales para su siembra y manejo (en línea) Consultado el 8 de octubre de 2014. Disponible en: <http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/43687/43687.pdf>

FAO. 1999. Recuperado el 20 de Mayo de 2014, de Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/gepnms.pdf>

7. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de materia seca y sólidos volátiles de muestras recolectadas en la parcela experimental de El Guayabo, Honduras, 2014.

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológica	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia seca	% Sólidos volátiles
1	2	Crecimiento vegetativo	1	1	Hojas	14	80
2	2	Crecimiento vegetativo	1	1	Tallos	10	84
3	2	Crecimiento vegetativo	1	1	Raíces	25	55
4	2	Crecimiento vegetativo	1	2	Hojas	13	80
5	2	Crecimiento vegetativo	1	2	Tallos	10	82
6	2	Crecimiento vegetativo	1	2	Raíces	26	45
7	2	Crecimiento vegetativo	1	3	Hojas	13	83
8	2	Crecimiento vegetativo	1	3	Tallos	10	85
9	2	Crecimiento vegetativo	1	3	Raíces	76	15
10	2	Crecimiento vegetativo	1	4	Hojas	13	81
11	2	Crecimiento vegetativo	1	4	Tallos	9	82
12	2	Crecimiento vegetativo	2	4	Raíces	23	17
13	2	Crecimiento vegetativo	2	1	Hojas	14	81

Continuación anexo 1.

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológicas	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia seca	% Sólidos volátiles
14	2	Crecimiento vegetativo	2	1	Tallos	10	84
15	2	Crecimiento vegetativo	2	1	Raíces	22	53
16	2	Crecimiento vegetativo	2	2	Hojas	13	84
17	2	Crecimiento vegetativo	2	2	Tallos	8	82
18	2	Crecimiento vegetativo	2	2	Raíces	23	48
19	2	Crecimiento vegetativo	2	3	Hojas	15	85
20	2	Crecimiento vegetativo	2	3	Tallos	9	84
21	2	Crecimiento vegetativo	2	3	Raíces	23	32
22	2	Crecimiento vegetativo	2	4	Hojas	13	81
23	2	Crecimiento vegetativo	2	4	Tallos	10	84
24	2	Crecimiento vegetativo	2	4	Raíces	22	80
25	1	Floración	1	1	Hojas	16	87
26	1	Floración	1	1	Tallos	15	88
27	1	Floración	1	1	Raíces	31	83
28	1	Floración	1	2	Hojas	16	88
29	1	Floración	1	2	Tallos	15	83
30	1	Floración	1	2	Raíces	23	86
31	1	Floración	1	3	Hojas	15	84

Continuación anexo 1.

23

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológica	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia seca	% Sólidos volátiles
32	1	Floración	1	3	Tallos	13	86
33	1	Floración	1	3	Raíces	29	80
34	1	Floración	1	4	Hojas	14	84
35	1	Floración	1	4	Tallos	12	86
36	1	Floración	1	4	Raíces	29	82
37	1	Floración	2	1	Hojas	16	87
38	1	Floración	2	1	Tallos	14	88
39	1	Floración	2	1	Raíces	12	49
40	1	Floración	2	2	Hojas	16	86
41	1	Floración	2	2	Tallos	13	88
42	1	Floración	2	2	Raíces	33	80
43	1	Floración	2	3	Hojas	18	87
44	1	Floración	2	3	Tallos	15	90
45	1	Floración	2	3	Raíces	35	84
46	1	Floración	2	4	Hojas	16	86
47	1	Floración	2	4	Tallos	12	88
48	1	Floración	2	4	Raíces	32	88
49	1	Madurez Fisiológica	1	1	Hojas	27	86
50	1	Madurez Fisiológica	1	1	Tallos	27	91
51	1	Madurez Fisiológica	1	1	Raíces	37	84
52	1	Madurez Fisiológica	1	1	Vainas	11	92

Continuación anexo 1.

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológicas	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia seca	% Sólidos volátiles
53	1	Madurez Fisiológica	1	2	Hojas	22	82
54	1	Fisiológica	1	2	Tallos	22	91
55	1	Madurez Fisiológica	1	2	Raíces	37	79
56	1	Madurez Fisiológica	1	2	Vainas	4	91
57	1	Madurez Fisiológica	1	3	Hojas	28	84
58	1	Madurez Fisiológica	1	3	Tallos	23	90
59	1	Madurez Fisiológica	1	3	Raíces	35	83
60	1	Madurez Fisiológica	1	3	Vainas	11	92
61	1	Madurez Fisiológica	1	4	Hojas	21	84
62	1	Madurez Fisiológica	1	4	Tallos	23	91
63	1	Madurez Fisiológica	1	4	Raíces	37	86
64	1	Madurez Fisiológica	1	4	Vainas	9	92
65	1	Madurez Fisiológica	1	4	Flores	9	100
66	1	Madurez Fisiológica	2	1	Hojas	20	84
67	1	Madurez Fisiológica	2	1	Tallos	23	92
68	1	Madurez Fisiológica	2	1	Raíces	36	83

Continuación anexo 1.

25

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológicas	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia seca	% Sólidos volátiles
69	1	Madurez Fisiológica	2	1	Vainas	15	94
70	1	Madurez Fisiológica	2	2	Flores	13	80
71	1	Madurez Fisiológica	2	2	Hojas	23	85
72	1	Madurez Fisiológica	2	2	Tallos	22	92
73	1	Madurez Fisiológica	2	2	Raíces	38	89
74	1	Madurez Fisiológica	2	2	Vainas	12	93
75	1	Madurez Fisiológica	2	2	Flores	14	100
76	1	Madurez Fisiológica	2	3	Hojas	21	84
77	1	Madurez Fisiológica	2	3	Tallos	20	91
78	1	Madurez Fisiológica	2	3	Raíces	35	77
79	1	Madurez Fisiológica	2	3	Vainas	11	92
80	1	Madurez Fisiológica	2	3	Flores	13	100
81	1	Madurez Fisiológica	2	4	Hojas	24	84
82	1	Madurez Fisiológica	2	4	Tallos	20	90
83	1	Madurez Fisiológica	2	4	Raíces	34	84

Continuación anexo 1.

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológicas	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia seca	% Sólidos volátiles
84	1	Madurez Fisiológica	2	4	Vainas	12	92
85	1	Madurez Fisiológica	2	4	Flores	14	100
86	3	Cosecha	1	1	Hojas	37	70
87	3	Cosecha	1	1	Tallos	28	87
88	3	Cosecha	1	1	Raíces	37	73
89	3	Cosecha	1	1	Vainas	11	278
90	3	Cosecha	1	1	Semillas	32	93
91	3	Cosecha	1	2	Hojas	20	83
92	3	Cosecha	1	2	Tallos	24	89
93	3	Cosecha	1	2	Raíces	35	74
94	3	Cosecha	1	2	Vainas	11	89
95	3	Cosecha	1	2	Semillas	26	91
96	3	Cosecha	1	3	Hojas	28	78
97	3	Cosecha	1	3	Tallos	23	88
98	3	Cosecha	1	3	Raíces	32	71
99	3	Cosecha	1	3	Vainas	12	85
100	3	Cosecha	1	3	Semillas	33	94
101	3	Cosecha	1	4	Hojas	24	78
102	3	Cosecha	1	4	Tallos	25	90
103	3	Cosecha	1	4	Raíces	34	87
104	3	Cosecha	1	4	Vainas	12	90
105	3	Cosecha	1	4	Semillas	30	94
106	3	Cosecha	2	1	Hojas	25	82

Continuación anexo 1.

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológicas	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia seca	% Sólidos volátiles
107	3	Cosecha	2	1	Tallos	26	91
108	3	Cosecha	2	1	Raíces	37	79
109	3	Cosecha	2	1	Vainas	10	86
110	3	Cosecha	2	1	Semillas	23	90
111	3	Cosecha	2	2	Hojas	20	78
112	3	Cosecha	2	2	Tallos	22	90
113	3	Cosecha	2	2	Raíces	32	72
114	3	Cosecha	2	2	Vainas	12	90
115	3	Cosecha	2	2	Semillas	27	92
116	3	Cosecha	2	3	Hojas	36	85
117	3	Cosecha	2	3	Tallos	31	92
118	3	Cosecha	2	3	Raíces	38	86
119	3	Cosecha	2	3	Vainas	12	92
120	3	Cosecha	2	3	Semillas	32	96
121	3	Cosecha	2	4	Hojas	28	78
122	3	Cosecha	2	4	Tallos	24	91
123	3	Cosecha	2	4	Raíces	43	84
124	3	Cosecha	2	4	Vainas	11	89
125	3	Cosecha	2	4	Semillas	31	95

Anexo 2. Análisis de materia seca y sólidos volátiles de muestras recolectadas en la parcela experimental de Zamorano, Honduras, 2014.

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológicas	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia Seca	% Sólidos volátiles
1	2	Crecimiento vegetativo	1	1	Hojas	17	79
2	2	Crecimiento vegetativo	1	1	Tallos	12	81
3	2	Crecimiento vegetativo	1	1	Raíces	24	79
4	2	Crecimiento vegetativo	1	2	Hojas	17	79
5	2	Crecimiento vegetativo	1	2	Tallos	14	81
6	2	Crecimiento vegetativo	1	2	Raíces	332	7
7	2	Crecimiento vegetativo	1	3	Hojas	17	76
8	2	Crecimiento vegetativo	1	3	Tallos	12	82
9	2	Crecimiento vegetativo	1	3	Raíces	27	79
10	2	Crecimiento vegetativo	1	4	Hojas	17	148
11	2	Crecimiento vegetativo	1	4	Tallos	13	83
12	2	Crecimiento vegetativo	2	4	Raíces	29	73
13	2	Crecimiento vegetativo	2	1	Hojas	16	80
14	2	Crecimiento vegetativo	2	1	Tallos	12	84
15	2	Crecimiento vegetativo	2	1	Raíces	25	85
16	2	Crecimiento vegetativo	2	2	Hojas	17	80
17	2	Crecimiento vegetativo	2	2	Tallos	12	81
18	2	Crecimiento vegetativo	2	2	Raíces	26	70
19	2	Crecimiento vegetativo	2	3	Hojas	17	77
20	2	Crecimiento vegetativo	2	3	Tallos	13	83
21	2	Crecimiento vegetativo	2	3	Raíces	-247	-7
22	2	Crecimiento vegetativo	2	4	Hojas	17	79
23	2	Crecimiento vegetativo	2	4	Tallos	12	84

Continuación anexo 2.

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológicas	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia Seca	% Sólidos volátiles
24	2	Crecimiento vegetativo	2	4	Raíces	23	79
25	1	Floración	1	1	Hojas	20	80
26	1	Floración	1	1	Tallos	14	82
27	1	Floración	1	1	Raíces	40	90
28	1	Floración	1	1	Flores	19	86
29	1	Floración	1	2	Hojas	21	84
30	1	Floración	1	2	Tallos	17	84
31	1	Floración	1	2	Raíces	46	88
32	1	Floración	1	2	Flores	18	86
33	1	Floración	1	3	Hojas	22	84
34	1	Floración	1	3	Tallos	19	86
35	1	Floración	1	3	Raíces	48	89
36	1	Floración	1	3	Flores	19	89
37	1	Floración	1	4	Hojas	21	84
38	1	Floración	1	4	Tallos	17	85
39	1	Floración	1	4	Raíces	39	90
40	1	Floración	1	4	Flores	18	88
41	1	Floración	2	1	Hojas	24	83
42	1	Floración	2	1	Tallos	17	85
43	1	Floración	2	1	Raíces	43	91
44	1	Floración	2	1	Flores	18	90
45	1	Floración	2	2	Hojas	22	83
46	1	Floración	2	2	Tallos	19	87
47	1	Floración	2	2	Raíces	40	91

Continuación anexo 2.

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológica	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia Seca	% Sólidos volátiles
48	1	Floración	2	2	Flores	18	88
49	1	Floración	2	3	Hojas	18	85
50	1	Floración	2	3	Tallos	16	85
51	1	Floración	2	3	Raíces	73	91
52	1	Floración	2	3	Flores	19	84
53	1	Floración	2	4	Hojas	21	85
54	1	Floración	2	4	Tallos	20	87
55	1	Floración	2	4	Raíces	64	90
56	1	Floración	2	4	Flores	18	90
57	2	Cosecha	1	1	Hojas	25	72
58	2	Cosecha	1	1	Tallos	20	81
59	2	Cosecha	1	1	Raíces	39	70
60	2	Cosecha	1	1	Vainas	8	88
61	2	Cosecha	1	1	Semillas	36	95
62	2	Cosecha	1	2	Hojas	21	67
63	2	Cosecha	1	2	Tallos	18	82
64	2	Cosecha	1	2	Raíces	40	54
65	2	Cosecha	1	2	Vainas	10	86
66	2	Cosecha	1	2	Semillas	29	94
67	2	Cosecha	1	3	Hojas	24	57
68	2	Cosecha	1	3	Tallos	20	81
69	2	Cosecha	1	3	Raíces	40	59
70	2	Cosecha	1	3	Vainas	12	87
71	2	Cosecha	1	3	Semillas	37	94

Continuación anexo 2.

No. de Planta	No. de Cama	Etapas fenológicas	Tratamiento	Repetición	Parte de la planta	% Materia Seca	% Sólidos volátiles
72	2	Cosecha	1	4	Hojas	19	73
73	2	Cosecha	1	4	Tallos	19	86
74	2	Cosecha	1	4	Raíces	42	61
75	2	Cosecha	1	4	Vainas	11	91
76	2	Cosecha	1	4	Semillas	35	95
77	2	Cosecha	2	1	Hojas	27	57
78	2	Cosecha	2	1	Tallos	23	88
79	2	Cosecha	2	1	Raíces	44	47
80	2	Cosecha	2	1	Vainas	34	90
81	2	Cosecha	2	1	Semillas	61	96
82	2	Cosecha	2	2	Hojas	21	82
83	2	Cosecha	2	2	Tallos	22	87
84	2	Cosecha	2	2	Raíces	35	73
85	2	Cosecha	2	2	Vainas	11	94
86	2	Cosecha	2	2	Semillas	19	96
87	2	Cosecha	2	3	Hojas	22	64
88	2	Cosecha	2	3	Tallos	21	82
89	2	Cosecha	2	3	Raíces	54	26
90	2	Cosecha	2	3	Vainas	10	91
91	2	Cosecha	2	3	Semillas	37	96
92	2	Cosecha	2	4	Hojas	24	78
93	2	Cosecha	2	4	Tallos	21	85
94	2	Cosecha	2	4	Raíces	46	48
95	2	Cosecha	2	4	Vainas	17	84
96	2	Cosecha	2	4	Semillas	45	96

