



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE  
SIMULACIÓN DE CULTIVO DSSAT CERES - MAIZE  
BAJO CONDICIONES ANDINAS**

**Tesis previa a la  
obtención del título de  
Ingeniero Agrónomo**

**Autor:**

Jhuliana Maribel Calva Suárez

**Directora:**

PhD. Mirian Irene Capa Morocho

**LOJA – ECUADOR**

2019

## CERTIFICACIÓN

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

**DIRECTORA DE TESIS**

### **CERTIFICA:**

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado **EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE CULTIVO DSSAT CERES - MAIZE BAJO CONDICIONES ANDINAS**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, de la egresada Jhuliana Maribel Calva Suárez, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido para la carrera de Ingeniería Agronómica.

En mi calidad de Directora de Tesis certifico que el trabajo de investigación realizado ha sido el trabajo propio de la egresada.

Loja, 16 de diciembre de 2019



---

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

**DIRECTORA DE TESIS**

## CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del Tribunal de calificación del Trabajo Final de Tesis: EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE CULTIVO DSSAT CERES-MAIZE BAJO CONDICIONES ANDINAS, de autoría de la señorita Jhuliana Maribel Calva Suárez, egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica, se le propuso realizar algunas correcciones, ,mismas que ya han sido incluidas en el documento final.

En tal virtud, nos permitimos certificar que el trabajo final consolidado de investigación está acorde a los requerimientos de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por lo tanto, se autoriza continuar con los trámites correspondientes.

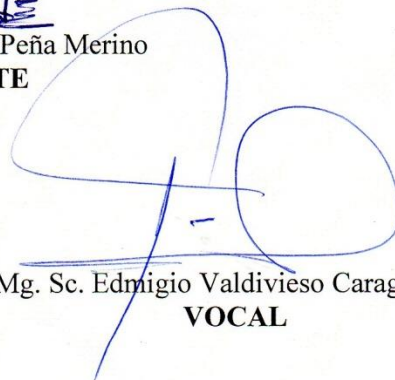
Loja, 16 de diciembre del 2019



Mg. Sc. Simón Bolívar Peña Merino  
**PRESIDENTE**



PhD. Marlene Lorena Molina Muller  
**VOCAL**



Mg. Sc. Edmiglio Valdivieso Caraguay  
**VOCAL**

## AUTORÍA

Yo, Jhuliana Maribel Calva Suárez declaro ser la autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Declaro, que durante la investigación y elaboración de la tesis el uso de referencias publicadas por otros autores cumplió con las normas y regulaciones establecidas.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.



-----  
Jhuliana Maribel Calva Suárez

**Cédula:** 1105883043

**Fecha:** 16/12/2019

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA  
CONSULTA, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL Y PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Jhuliana Maribel Calva Suárez, declaro ser la autora de la tesis titulada **EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE CULTIVO DSSAT CERES-MAIZE BAJO CONDICIONES ANDINAS** como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, por lo que autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre al mundo la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden hacer uso de este trabajo investigativo en las redes de información del país (RID) y del exterior, con las que mantengan convenio la Universidad.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecisiete días del mes de diciembre del dos mil diecinueve, firma la autora:

**Datos autora:**

**Firma:** 

**Autora:** Jhuliana Maribel Calva Suárez

**Cédula:** 1105883043

**Dirección:** Mercadillo y Atahualpa, Loja.

**Correo electrónico:**

calvajhuliana@gmail.com

**Celular:** 0969662416

**Datos complementarios**

**Director de tesis:**

PhD. Mirian Irene Capa Morocho

**Tribunal de Grado:**

Mg. Sc. Simón Bolívar Peña Merino

**PRESIDENTE**

PhD. Marlene Molina Muller

**VOCAL**

Mg. Sc. Edmigio Valdivieso C.

**VOCAL**

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería Agronómica. A cada uno de los docentes que compartieron su sabiduría y me motivaron en el aula de clase para culminar de la mejor manera con esta fase de mi vida.

A mis padres María Suárez y Jorge Calva por brindarme su apoyo incondicional durante el transcurso de la carrera y esperar nada menos que la excelencia por parte mía.

Y de manera especial a mi directora de tesis la PhD. Mirian Irene Capa Morocho, principal colaboradora en este proceso, quien con su dirección, conocimiento y asesoramiento en cada inquietud presentada durante el desarrollo de la investigación.

*Jhuliana Maribel Calva Suárez*

## **DEDICATORIA**

*A Dios por la vida, la salud, la sabiduría.*

*A mis padres por su esfuerzo y apoyo incondicional,  
a mis tíos y primos quienes me han animado y apoyado  
a lo largo de mi vida para culminar con éxito mis estudios  
hasta verme realizada como profesional.*

***Jhuliana Maribel Calva Suárez***

## ÍNDICE GENERAL

Pág.

CERTIFICACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	iii
AUTORÍA .....	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT .....	xviii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1. Objetivo General.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>2</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Maíz (<i>Zea mays</i> L.).....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1. Importancia.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2. Origen.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.3. Fenología y crecimiento.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.4. Integral térmica en maíz .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.5. Producción y rendimiento de maíz.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.6. Manejo del cultivo de maíz .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2. Modelos de simulación.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1. Importancia de uso y aplicaciones .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2. Tipos de modelos.....</b>	<b>11</b>



2.2.3.	<b>DSSAT (<i>Decision Support System for Agrotechnology Transfer</i> CERES-Maize)</b> .....	11
2.2.3.1.	<b>Datos requeridos por el modelo</b> .....	12
2.2.3.2.	<b>Clima</b> .....	12
2.2.3.3.	<b>Suelo</b> .....	12
2.2.3.4.	<b>Manejo del cultivo</b> .....	12
3.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	14
3.1.	<b>Ubicación</b> .....	14
3.2.	<b>Materiales</b> .....	15
3.3.	<b>Diseño experimental</b> .....	15
3.4.	<b>Delineamiento experimental</b> .....	16
3.5.	<b>Metodología General</b> .....	16
4.	<b>RESULTADOS</b> .....	21
4.1.	<b>Crecimiento y Desarrollo</b> .....	21
	<b>Fases Fenológicas</b> .....	22
4.1.1.1.	<b>Emergencia</b> .....	22
4.1.1.2.	<b>Floración</b> .....	22
4.1.2.	<b>Integral térmica</b> .....	23
4.1.3.	<b>Crecimiento</b> .....	24
4.1.3.1.	<b>Altura</b> .....	24
4.1.3.2.	<b>Número de hojas</b> .....	25
4.1.3.3.	<b>Índice de área foliar (IAF)</b> .....	26
4.1.3.4.	<b>Porcentaje de hoja seca</b> .....	27
4.1.3.5.	<b>Biomasa y peso seco</b> .....	28
4.2.	<b>Rendimientos</b> .....	32
4.3.	<b>Calibración del modelo DSSAT CERES-Maize</b> .....	33
4.3.1.	<b>Base de datos suelo</b> .....	33

<b>4.3.2.</b>	<b>Base de datos de clima</b> .....	34
<b>4.3.3.</b>	<b>Base de datos cultivo y calibración</b> .....	35
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	38
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	42
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	43
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	44
<b>9.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Pág.**

<b>Figura 1.</b> Fases fenológicas del maíz.....	5
<b>Figura 2.</b> Rendimiento de maíz suave choclo periodo 2002-2017 .....	9
<b>Figura 3.</b> Localización del estudio, Quinta Experimental Docente La Argelia, perteneciente a La Universidad Nacional de Loja, de la parroquia urbana San Sebastián.....	14
<b>Figura 4.</b> Curva sigmoideal del porcentaje de emergencia del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo) en los diferentes tratamientos.....	22
<b>Figura 5.</b> Curva sigmoideal del porcentaje de floración del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo) en los diferentes tratamientos. ....	23
<b>Figura 6.</b> Curva de crecimiento del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo). ....	25
<b>Figura 7.</b> Curva del número de hojas del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo).....	26
<b>Figura 8.</b> Índice de área foliar del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo). ....	27
<b>Figura 9.</b> Curva de porcentaje de hoja seca del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo).....	28
<b>Figura 10.</b> Biomasa (A) y Peso seco (B) a silking del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo).....	29
<b>Figura 11.</b> Biomasa (A) y Peso seco (B) a madurez fisiológica del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo). ....	30
<b>Figura 12.</b> Peso seco y humedad del grano del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo): Tratamiento 1 (A) y Tratamiento 2 (B). ....	31
<b>Figura 13.</b> Rendimiento de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo).....	32
<b>Figura 14.</b> Variables climáticas en la estación meteorológica La Argelia: A) Temperatura máxima, media y mínima (Tmax, Tm y Tmin respectivamente); B) Humedad relativa (HR); C) Precipitación y D) Número de días con precipitación. Los valores climatológicos son promedios de 25 años atrás .....	34

**Figura 15.** Valores observados y simulados promedio del modelo CERES-Maize de los días después de la siembra a emergencia, antesis y cosecha, correspondientes al cultivar maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo)..... 37

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Estados vegetativos y reproductivos de maíz (Ritchie y Hanway, 1982).....	5
<b>Tabla 2.</b> Características del ensayo establecido en el Sector Los Molinos, Quinta Experimental Docente La Argelia. ....	16
<b>Tabla 3.</b> Fenología de cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo) en los diferentes tratamientos. ....	21
<b>Tabla 4.</b> Integral térmica (IT) y tiempo cronológico (días) del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo) por etapa fenológica en los diferentes tratamientos. ....	24
<b>Tabla 5</b> Peso de Kernel y porcentaje de nitrógeno del grano de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo). ....	32
<b>Tabla 6.</b> Características físico – químicas del perfil del suelo de la Quinta Experimental Docente La Argelia. ....	33
<b>Tabla 7.</b> Constantes hidrofísicas del perfil del suelo en la Quinta experimental La Argelia. ....	33
<b>Tabla 8.</b> Dosis y cantidad de insumos utilizados en el cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo). ....	35
<b>Tabla 9.</b> Valores de coeficientes genéticos correspondientes al cultivar de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo) que modifican la fenología y crecimiento del modelo CERES-Maize.....	36
<b>Tabla 10.</b> Calibración de la fenología de la variedad de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo). ....	36
<b>Tabla 11.</b> Calibración del rendimiento y biomasa de la variedad de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo). ....	37

## ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

<b>Anexo 1</b> Emergencia del cultivo de maíz (días) <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo). .....	51
<b>Anexo 2</b> Altura del cultivo de maíz (cm) <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo). .....	53
<b>Anexo 3</b> Número de hojas del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo). .....	55
<b>Anexo 4</b> Porcentaje de hoja seca del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo). .....	57
<b>Anexo 5</b> Biomasa y peso seco a silking del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo).....	58
<b>Anexo 6</b> Biomasa y peso seco a madurez fisiológica del cultivo de maíz <i>Zea mays</i> variedad INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo).....	59
<b>Anexo 7</b> Promedios plurianuales de: A) Temperatura máxima, media y mínima (Tmax, Tm y Tmin respectivamente); B) Humedad relativa (HR); C) Precipitación y D) Número de días con precipitación de la estación meteorológica La Argelia. ....	60
<b>Anexo 8</b> Promedios anuales de temperatura máxima, mínima y media, precipitación y humedad relativa.....	61
<b>Anexo 9</b> Base de datos de suelo en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize. ....	63
<b>Anexo 10</b> Base de datos del clima utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize.....	63
<b>Anexo 11</b> Base de datos del cultivo de maíz utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize. ....	64
<b>Anexo 12</b> Actividades realizadas en el cultivo de maíz INIAP 103 “ <i>Mishqui Sara</i> ” (Maíz nutritivo).....	65
<b>Anexo 13</b> Análisis de suelo en la Estación Experimental Litoral del Sur.....	66
<b>Anexo 14</b> Registro de asistencia de estudiantes de Quinto ciclo “A” de la exposición de resultados. ....	68
<b>Anexo 15.</b> Tríptico presentado en la exposición de los resultados obtenidos. ....	69

**EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL  
MODELO DE SIMULACIÓN DE CULTIVO  
DSSAT CERES – MAIZE BAJO CONDICIONES  
ANDINAS**

## RESUMEN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es el cereal con mayor volumen de producción a nivel mundial, debido a sus múltiples usos como alimento humano, animal, materia prima y producción de bioetanol, etc. Debido a la fuerte influencia que ejerce la variabilidad climática y los eventos extremos sobre la agricultura es necesario desarrollar, a través del uso de la tecnología, herramientas de apoyo a los agricultores para la toma de decisiones agronómicas. Por lo cual, como una alternativa para contrarrestar la influencia del clima, es necesaria la presente investigación, en la cual se evaluó y calibró el modelo de simulación CERES-Maize, incluido en la plataforma DSSAT, usando datos del ensayo de campo con una variedad de maíz blanco de altura y manejos propios de la región Andina. Con este propósito, se estableció el cultivo de maíz variedad INIAP-103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo) en la localidad de Loja, Sur del Ecuador, en un periodo de 8 meses, con dos densidades de siembra: 75000 plantas ha<sup>-1</sup> (3 semillas por golpe cada 0,5 m) y 62500 plantas ha<sup>-1</sup> (1 semilla por golpe cada 0,2 m). Se evaluó la fenología, integral térmica, crecimiento (altura, número de hojas, índice de área foliar -IAF-, porcentaje de hoja seca, biomasa y peso seco) y rendimiento en cada tratamiento. Para la calibración del modelo de simulación de cultivos se construyeron las bases de datos climáticos a escala diaria (precipitación, temperatura máxima y mínima, velocidad de viento, humedad relativa, radiación), datos del suelo (horizontes hasta 1.20 m, textura, estructura, densidad aparente, carbono orgánico y color del suelo) y datos del manejo del cultivo (fechas de siembra, densidades, fertilización). No se observó un efecto significativo de la densidad de siembra y espaciamiento en la fenología del cultivo e integral térmica. Se determinó que la variedad de estudio necesitó 1841,45 grados día acumulados para llegar a la madurez fisiológica. Se encontraron diferencias significativas entre el índice de área foliar de las dos densidades de siembra, obteniendo el mayor IAF (2.5 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) con la densidad de 62500 plantas ha<sup>-1</sup>. El rendimiento más alto (5269,6 kg ha<sup>-1</sup>) fue obtenido con una densidad de siembra de 62500 plantas ha<sup>-1</sup>, frente a 4876.7 kg ha<sup>-1</sup> con la densidad de 75000 plantas ha<sup>-1</sup>, sin manifestar diferencias significativas. En la calibración se determinó los coeficientes genéticos P1:275.0, P2:0.0, P5:935.0, G2:470.0, G3:5.0 y PHINT:63.0, los cuales permitieron un mejor ajuste entre los datos simulados y medidos de la fenología (siembra, floración y cosecha) y las variables rendimiento, IAF y contenido de nitrógeno en grano. Los resultados de este trabajo resaltan la importancia del manejo de



los cultivos, específicamente de la densidad de siembra y espaciamiento entre plantas, ya que se puede mejorar la productividad de variedades de maíz blanco adaptadas a condiciones andinas.

**Palabras claves:** maíz blanco, DSSAT, CERES-Maize, Calibración, Modelo de cultivo, Andes

## ABSTRACT

Maize crop (*Zea mays* L.) is the cereal with the highest production volume worldwide, due to its multiple uses as human food, animal, raw material, bioethanol production, etc. Due to the strong influence of climate variability and extreme events on agriculture should be developed, through the use of technology, tools support to farmers for making agricultural decisions. Therefore, as an alternative to counteract the influence of the climate, it is necessary to carry out the present research, in which the CERES-Maize simulation model was evaluated and calibrated using field data with a white maize variety and management of the Andean region. For this purpose, the maize crop using INIAP-103 “*Mishqui Sara*” (nutrient corn) variety was established in Loja, Southern Ecuador, over an 8-month period, with two planting densities: 75.000 plants ha<sup>-1</sup> (3 seeds per hole every 0.5 m) and 62500 plants ha<sup>-1</sup> (1 seed per hole every 0.2 m). The crop phenology, thermal integral, growth (height, number of leaves, leaf area index - LAI-, percentage of dry leaf, biomass and dry weight) and yield in each treatment were evaluated. For the calibration of the crop simulation model, the climatic databases on a daily scale (precipitation, maximum and minimum temperature, wind speed, relative humidity, radiation), soil data (horizons up to 1.20 m, texture, structure, apparent density, organic carbon, soil color) and crop management data (planting dates, densities, fertilization) were built. There was no significant effect of planting density and spacing on crop phenology and thermal time. It was determined that variety of study needed 1841.45 degree day to reach physiological maturity. Significant differences were found between the leaf area index of the two planting densities, obtaining the highest LAI (2.5 m<sup>2</sup> / m<sup>2</sup>) with the density of 62500 plants ha<sup>-1</sup>. The highest yield (5269.6 kg ha<sup>-1</sup>) was obtained with a planting density of 62500 plants ha<sup>-1</sup>, compared to 4876.7 kg ha<sup>-1</sup> with the density of 75000 plants ha<sup>-1</sup>, without showing significant differences. In the calibration, the genetic coefficients P1: 275.0, P2: 0.0, P5: 935.0, G2: 470.0, G3: 5.0 and PHINT: 63.0 were determined, which allowed a better fit between simulated and measured phenology data (sowing, flowering and harvest), yield, LAI and nitrogen content in grain. The results of this study highlight the importance of crop management, specifically the planting density and spacing between plants because it can improve the productivity of white maize varieties adapted to Andean conditions.

**Keywords:** *white maize*, DSSAT, CERES-Maize, Calibration, Crop model, Andes

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es el más importante de los cereales a nivel mundial, debido a que existe una tendencia creciente por la diversificación del uso del maíz (Gutiérrez, 2017). La producción de maíz suave en Ecuador, se encuentra en la mayoría de provincias de la Sierra, distribuyéndose en altitudes entre los 2 000 y 3 000 msnm, siendo utilizado como choclo y en diferentes formas como grano seco (Boada y Espinoza, 2016).

La producción mundial de maíz para el año 2016/2017 fue de 1 087 millones de toneladas y se estima que para el año 2017/2018 la producción sea de 1 044 millones de toneladas (CIC, 2018). En Ecuador, la producción de maíz suave seco de altura para el año 2017 a nivel nacional fue de 50,053 t, con un rendimiento de 0,84 t/ha y una superficie cosechada de 59,61 ha. Para el mismo año, en la provincia de Loja, los datos de producción fueron de 3,115 t, con un rendimiento de 0,65 t/ha y una superficie cosecha de 34,787 ha (SIPA, 2017).

En Ecuador, los bajos rendimientos son consecuencias de varios factores, entre los que se destacan la utilización de material genético no adaptado y seleccionado, inadecuado manejo de los cultivos (fechas de siembra, mal empleo de fertilizantes y fitosanitarios, escaso uso de tecnologías, etc.) y a factores climáticos (FAO, 2014 y Boada y Espinoza, 2016). La agricultura ecuatoriana ha sido afectada en las últimas décadas por las continuas variaciones de temperatura y precipitación provocando la progresiva pérdida de la producción agrícola, afectando especialmente al sector agrícola de subsistencia (Ludeña y Wilk, 2013 y Jiménez y Massa, 2015). En las últimas décadas, el uso de modelos de simulación de cultivos ha permitido el estudio de impactos económicos, ambientales y tecnológicos, la evaluación del desarrollo de estrategias productivas y los pronósticos de rendimiento de los cultivos (Ovando *et al*, 2017). Uno de los modelos más ampliamente usados a nivel mundial es CERES para maíz, incluido en *DSSAT* (Sistema de Apoyo para la Toma de Decisiones en la Transferencia Agrotecnológica, por sus siglas en inglés) (Hoogenboom, 2010). CERES es un modelo mecanicista que simula el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo en función de las condiciones climáticas, edáficas, etapas fenológicas del cultivo y prácticas de manejo (fecha y densidad de siembra, fertilizantes, riego, entre otros) (Ovando *et al*, 2017).

Un modelo es “una representación simplificada de un sistema real” (Guarín, 2011). Los modelos de simulación de cultivos del *DSSAT* utilizan archivos de datos para clima, suelo y manejo del cultivo, permitiendo la simulación del crecimiento de cultivos de importancia económica y ante la cual han demostrado alta confiabilidad en distintas condiciones (Hernández, 2009).

En la presente investigación, el uso de modelos de simulación de cultivos constituye una alternativa para contrarrestar los efectos del cambio climático, debido a la posibilidad de manipulación de variables, fechas de siembra, fertilizaciones, controles de plagas y enfermedades para evitar pérdidas económicas garantizando la cosecha.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo General**

- Evaluar y calibrar el modelo de simulación de cultivo DSSAT CERES –Maize en perspectiva de mejorar la producción y sostenibilidad en la región Andina.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la fenología y crecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) de altura var. INIAP-103 relacionada a la integral térmica.
- Comparar los rendimientos de maíz bajo dos densidades siembra en secano.
- Evaluar y calibrar el modelo ecofisiológico CERES-Maize para el cultivo de maíz mediante ensayos de campo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Maíz (*Zea mays* L.)

#### 2.1.1. Importancia

El maíz es el más importante de los cereales a nivel mundial, debido a que existe una tendencia creciente por la diversificación en el uso del maíz; ya que se puede utilizar para consumo humano y pecuario (para formular concentrados para aves, ganado y cerdos); también en la industria se utiliza para la producción de almidón, glucosa, dextrosa, fructosa, aceites, etanol, elaboración de algunas bebidas alcohólicas, y otros productos utilizados como materia prima en las industrias minera, textil, electrónica, farmacéutica, alimentaria (Paliwal, 2011 y Gutiérrez, 2017). Es importante en la alimentación animal, tanto como forraje, balanceados, granos enteros o molidos, que son sumamente nutritivos. Es una buena fuente de almidón, aunque su contenido proteico sea bajo contiene vitamina C, y aminoácidos esenciales como la lisina (Basantes, 2015).

El maíz es un cereal considerado como bien de producción primaria de importancia mundial por la amplitud en su cadena de valor, ya que es utilizado para la alimentación humana, animal y piscícola hasta su procesamiento, cuyo producto final puede ser también combustible o materia prima para elaborar productos químicos.

El cultivo de maíz de altura es uno de los más importantes de la zona andina, debido al área dedicada al cultivo, y por ser un componente básico de los sistemas de producción y alimentación del hombre andino. Es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas, por eso se cultiva en todo el mundo (Basantes, 2015).

#### 2.1.2. Origen

El maíz (*Zea mays* L.) fue una de las primeras plantas cultivadas por agricultores a nivel mundial hace 7 000 y 10 000 años, teniendo como evidencia lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz fueron encontradas en cuevas de habitantes primitivo (Paliwal, 2011).

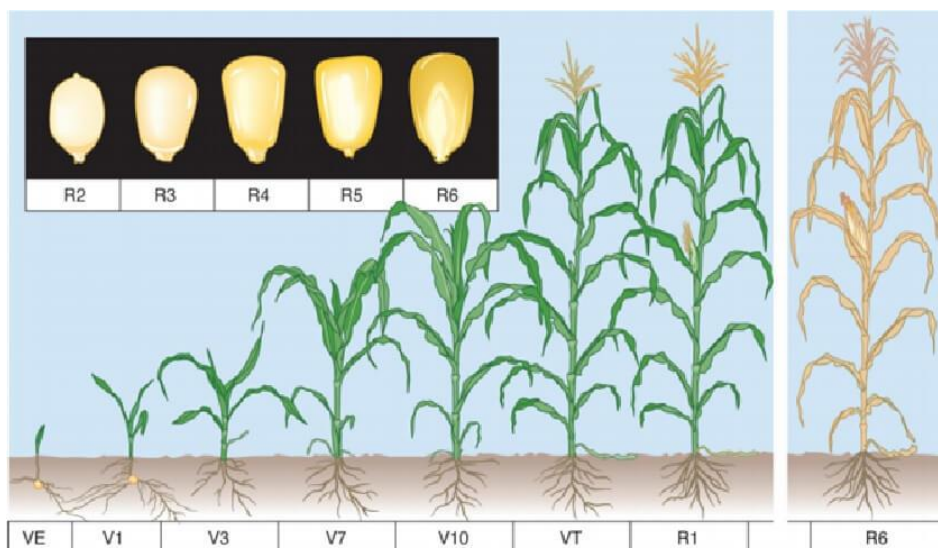
En Ecuador, se dice que el cultivo de maíz se desarrolló hace 6500 años, pues investigaciones realizadas a partir de fitolitos en muestras de tierra, revelan que en la Península de Santa Elena (Provincia de Santa Elena), los antiguos habitantes de la cultura “Las Vegas” ya empezaron a cultivar esta gramínea desarrollando de esta manera el inicio de una incipiente horticultura (Yanez *et al*, 2013).

El INIAP introdujo al Ecuador la variedad de maíz de grano blanco harinoso con alta calidad de proteína (ACP) Aychazara 102, procedente del Centro de Fitoecogenética Pairumani de Bolivia en el año 2006. Se realizó un ciclo de selección familiar por Medios Hermanos, durante los años 2007 y 2008. Las familias fueron seleccionadas por el Programa de Maíz de la Estación Experimental del Austro del INIAP por caracteres agronómicos favorables como: sanidad, buena cobertura de mazorca y rendimiento sobre las 8 t/ha, la misma que contribuirá a la seguridad y soberanía alimentaria de los pobladores de la región (INIAP, 2013).

### **2.1.3. Fenología y crecimiento**

La fenología tiene como finalidad estudiar y describir de manera integral los diferentes eventos fenológicos que se dan en las especies vegetales dentro de ecosistemas naturales o agrícolas en su interacción con el medio ambiente. En este sentido, el monitoreo y captura de datos de observaciones fenológicas, consideradas importantes, son la base para la implementación de todo sistema agrícola, permitiendo que los productores agrícolas obtengan una mayor eficiencia en la planificación y programación de las diferentes actividades agrícolas conducentes a incrementar la productividad y producción de los cultivos (Yzarra y López, 2016).

Ciampitti *et al* (2016), mencionan que el desarrollo de la planta de maíz se divide en dos: Etapa vegetativa (V) y Etapa reproductiva (R). La vegetativa se subdivide en estadios designados numéricamente V1, V2, V3, Vn, en donde “n” representa el número total de hojas. El primer estadio vegetativo se designa como VE (emergencia) y el último estadio vegetativo es designado como VT (panojamiento o espigado), con respecto a la etapa reproductiva, está distribuida en seis subdivisiones, la primera subdivisión reproductiva se designa como R1 (floración) y la última subdivisión es designado R6 (madurez fisiológica). En la Figura 1 y Tabla 1 se muestran los estados de desarrollo de maíz según la escala de (Ritchie y Hanway, 1982).



**Figura 1.** Fases fenológicas del maíz

**Fuente:** (INIAP, INIAP-103 "Mishqui Sara"). Estados vegetativos y reproductivos de maíz (Ritchie y Hanway, 1982).

**Tabla 1.** Estados vegetativos y reproductivos de maíz (Ritchie y Hanway, 1982)

Estados vegetativos	Estados reproductivos
<b>VE</b> Emergencia	<b>R1</b> Emergencia de estigmas
<b>V1</b> 1 <sup>era</sup> hoja desarrollada	<b>R2</b> Ampolla (blister)
<b>V2</b> 2 <sup>da</sup> hoja desarrollada	<b>R3</b> Grano lechoso
<b>V3</b> 3 <sup>era</sup> hoja desarrollada	<b>R4</b> Grano pastoso
<b>V(n)</b> "n" ésima hoja	<b>R5</b> Grano dentado
<b>VT</b> Panojamiento	<b>R6</b> Madurez fisiológica

**Fuente:** Flores *et al.* (2014)

- a. **VE – Emergencia:** La emergencia ocurre cuando las primeras hojas, llamadas coleóptilos aparecen sobre la superficie del suelo. La semilla absorbe agua (aproximadamente un 30% de su peso) y oxígeno para la germinación. La radícula emerge rápidamente cerca de la punta del grano, dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura del suelo. El coleóptilo emerge hacia la superficie del suelo por la elongación del mesocótilo, el cual se abre a medida que esta estructura se acerca a la superficie del suelo.

- b. V1 – Primera hoja:** Una hoja con lígula visible (estructura que se encuentra en la base de la lámina). La punta de la primera hoja es redondeada. Desde este momento hasta floración (R1), los estadios vegetativos son definidos por la hoja con lígula visible localizada en la parte superior de la planta. El punto de crecimiento se encuentra por debajo de la superficie hasta la última parte del estadio V5 (cinco hojas).
- c. V2 – Segunda hoja:** Las raíces nodales comienzan a emerger debajo del suelo. Las raíces seminales comienzan a senescer. La probabilidad de que heladas dañan las plántulas es baja, excepto por condiciones de frío extremo o siembras poco profundas.
- d. V4 – Cuarta hoja:** Las raíces nodales son dominantes, ocupando mayor volumen en el suelo que las raíces seminales. Las hojas aún siguen desarrollándose en el meristemo apical.
- e. V6 – Sexta hoja:** Seis hojas con lígula visible. La primera hoja con punta redondeada senesció; se debe considerar este punto al realizar el conteo de las hojas. El punto de crecimiento emerge sobre la superficie del suelo. Todas las partes de la planta han iniciado su crecimiento. En algún momento entre V6 y V10 se determina el número potencial (máximo) de hileras en la mazorca. El número potencial de hileras es afectado por factores genéticos y ambientales, el cual es reducido por condiciones de estrés. La planta incrementa su altura debido a la elongación del tallo; las raíces nodales son establecidas en los nudos inferiores, ubicados bajo la superficie del suelo.
- f. V10 – Diez hojas:** Las raíces adventicias (o de anclaje) comienzan a desarrollarse en los nudos localizados en la parte inferior de la planta y por encima del suelo. Hasta este momento, la tasa de desarrollo foliar es aproximadamente de 2 a 3 días por hoja.
- g. V14 – Catorce hojas:** Crecimiento rápido. Esta etapa ocurre aproximadamente dos semanas antes de floración. Se caracteriza por alta sensibilidad a estrés térmico e hídrico. Cuatro a seis hojas se expandirán desde este estadio hasta VT (espigado).
- h. VT – Espigado:** Se define el número potencial de granos por hilera. Se están definiendo el número final de granos (número de óvulos) y el tamaño potencial de la mazorca. La última rama de la espiga es visible es en



extremo de la planta. Los estigmas en el jilote pueden o no haber emergido. La planta casi ha alcanzado su altura máxima.

- i. R1 – Floración:** La floración ocurre cuando un estigma es visible fuera de las hojas que cubren el jilote (brácteas). Los primeros estigmas en emerger son los que están asociados a granos potenciales en la base del jilote. Los estigmas permanecen activos hasta ser polinizados. El polen cae desde la espiga hasta los estigmas, fertilizando el óvulo para producir un embrión. Se determina el número potencial de granos. La planta alcanza su máxima altura. Posterior a la fecundación, se produce la división celular en el embrión.
- j. R2 – Ampolla:** Los estigmas se oscurecen y comienzan a secarse (aproximadamente 12 días después de floración). Los granos son blancos, similares a una ampolla y contienen un fluido claro. Los granos contienen cerca de 85% de humedad. El embrión se desarrolla en cada grano. La división celular está completa y comienza el llenado de grano.
- k. R3 – Grano lechoso:** Los estigmas se secan (aproximadamente 20 días después de floración). Los granos alcanzan su color final y contienen un fluido lechoso que puede ser extraído al presionarlos entre los dedos. Este fluido es el resultado de la acumulación de almidón.
- l. R4 – Grano masoso:** El almidón acumulado en los granos adquiere una consistencia masosa (aproximadamente 26 – 30 días después de floración). Ocurre una rápida acumulación de almidón y nutrientes, los granos poseen un 70% de humedad y comienzan a dentarse en su extremo superior. El material extraído de los granos al ser presionado es de consistencia masosa.
- m. R5 – Grano dentado:** La mayoría de los granos están dentados. La humedad de los granos se ha reducido a un 55% (38 – 42 días después de floración) mientras que el contenido de almidón ha aumentado.
- n. R6 – Madurez fisiológica:** Una capa negra se forma en la base del grano, impidiendo el movimiento de materia seca y nutrientes desde la planta hacia el mismo (50 – 60 días después de floración). Los granos alcanzan su máximo peso (30 – 35 % humedad) y se encuentran fisiológicamente maduros.

El crecimiento del cultivo de maíz resulta de la acumulación de biomasa vegetal. Esa ganancia de peso se debe, principalmente, al balance neto positivo del intercambio de

carbono entre la planta y su ambiente. En dicho balance, las pérdidas por respiración son sobre compensadas a través del proceso de fotosíntesis, mediante el cual la planta transforma parte de la energía solar recibida en energía química. Por lo tanto, la acumulación de biomasa en el cultivo depende de la cantidad de radiación solar disponible, de la capacidad para interceptarla y de la eficiencia con que el cultivo convierte la radiación capturada en biomasa vegetal (Totis, 2015).

#### **2.1.4. Integral térmica en maíz**

La integral térmica corresponde a un índice de disponibilidad de calor para el desarrollo y maduración de especies vegetales. Si desde el momento que se produce la germinación de un cultivo se suman las temperaturas medias de cada día hasta el momento de madurez, la suma total es siempre la misma (Álvarez, 2013).

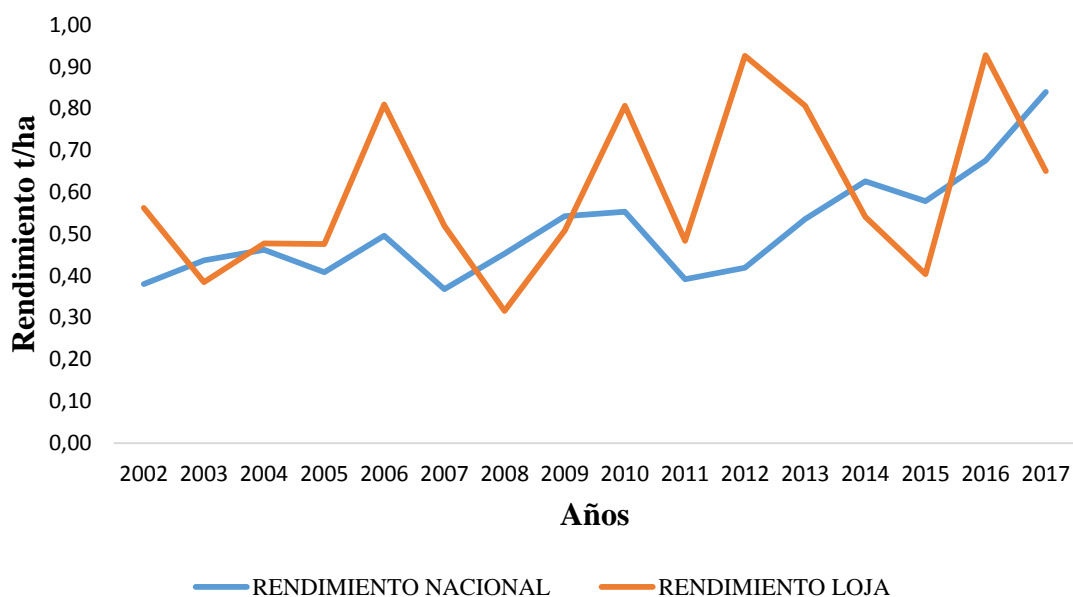
El desarrollo del maíz está íntimamente relacionado con la temperatura. El tiempo que requiere el maíz para progresar de un estado a otro depende de la cantidad de calor que acumule (grado-día). El rango de temperatura que se establece como necesario para el crecimiento comienza a los 6°C y finaliza a los 30°C, aunque puede seguir ocurriendo fuera de este rango. El cultivo puede acumular entre un mínimo de 0 grado-día y un máximo de 24 grado-día si las temperaturas se mantienen por debajo de 10 °C o por encima de 30°C respectivamente (Lora, 2016).

Durante los primeros días del ciclo, el crecimiento del cultivo está en su mayor parte orientado a generar nuevos tejidos foliares. Posteriormente, durante la etapa de encañe, el crecimiento del tallo es el que da cuenta de la mayor parte del aumento del peso total de la planta. Luego de la floración se detiene la producción de tejido foliar, el tallo continúa su incremento de peso durante un lapso de dos o tres semanas (debido a la acumulación de sustancias de reserva) e inmediatamente después los órganos reproductivos (granos) inician un acelerado proceso de crecimiento (Totis, 2015).

#### **2.1.5. Producción y rendimiento de maíz**

En Ecuador, las provincias en las que se cultiva maíz suave se encuentran en la región Sierra, con una superficie cultivada de 22,24 ha y un rendimiento promedio de 3,15 t ha<sup>-1</sup> para el año 2017. La media de rendimiento de maíz suave en la provincia de Loja es

inferior a la media nacional debido principalmente al manejo y las condiciones edafoclimáticas (Figura 2).



**Figura 2.** Rendimiento de maíz suave choclo periodo 2002-2017

**Fuente:** SIPA (2002-2017)

### 2.1.6. Manejo del cultivo de maíz

En la región Andina del Ecuador, se cultiva el maíz blanco en seco a densidades de siembra de 50,000 semillas/ha a un marco de plantación de 0,8 m entre surco y 0,25 m entre plantas. La siembra se inicia con el período de lluvias, que va desde septiembre a diciembre.

#### 2.1.6.1. Requerimientos climáticos y edáficos

- Requerimientos climáticos para el cultivo de maíz *Zea mays*

Altitud: 1 000 – 2 650 msnm, temperatura promedio de 15°C, Precipitación: 700 a 1300 mm por ciclo, Suelos: Francos, bien drenados, profundos (30-35 cm), con buen contenido de materia orgánica y pH 5 a 6.

- Las principales labores que se realizan en el cultivo son:

- a. **Preparación del suelo:** La preparación del suelo se realiza con anticipación para facilitar la descomposición de residuos, el mismo que se consigue con un pase de arado, uno de rastra y surcada. En zonas donde se siembra con labranza cero debe rozarse el terreno para luego de las primeras lluvias aplicar herbicida y proceder a la siembra

- b. **Fertilización:** Es necesario realizar un análisis de suelo previo a la siembra para saber la cantidad de nutrientes requeridos por el cultivo, en caso de no disponer del análisis de suelos se consiguen buenos rendimientos con la aplicación de cuatro sacos de 45 kg de 10-30-10 a la siembra, más dos sacos de urea a los treinta días y dos a los sesenta días después de la siembra (antes de la floración masculina), el suelo debe estar húmedo para su fácil absorción.
- c. **Aporque:** Tienen el propósito de incorporar una capa de suelo a fin alrededor de la planta en la parte inferior del tallo, con el objeto de ayudar al sostén de la planta, aflojar el suelo y mantener la humedad de la tierra.

## **2.2. Modelos de simulación**

### **2.2.1. Importancia de uso y aplicaciones**

Originalmente los modelos de crecimiento de cultivos, fueron usados como herramienta en las investigaciones científicas, resumiendo la compleja interacción de los diferentes procesos fisiológicos en las condiciones ambientales. Posteriormente también se convirtieron en una herramienta para el monitoreo de sistemas agrícolas y para crear un uso racional del suelo (Verdoodt *et al.*, 2004)

Los modelos de cultivos simulan el desarrollo y rendimiento de los cultivos, así como estimar su crecimiento ante la aplicación de nuevas tecnologías o condiciones de manejo; por estas razones, los modelos son útiles en entornos dinámicos y rápidamente cambiantes como es la agricultura actual. Los modelos de cultivos permiten representar y evaluar las relaciones multidimensionales entre los factores que afectan a los cultivos. Estos factores incluyen fecha de siembra, selección de cultivares, tipo de suelo, estrategias de fertilización, riego y los patrones meteorológicos estacionales (Ovando *et al.*, 2017).

El uso de modelos de simulación permite en forma práctica y flexible analizar las actividades agropecuarias en cada zona o región. Además, facilita el análisis de antes y después de nuevas estrategias tecnológicas para determinar su viabilidad tanto biológica como económica y permite determinar las condiciones necesarias para promover su difusión y fomento en determinada región (Holman, 2000).

### **2.2.2. Tipos de modelos**

Castro y Hétier, (2015) manifiestan que los modelos de simulación se clasifican en dos grandes grupos: predictivos o “empíricos” y causales o “mecanicistas”.

Los modelos empíricos son reducidos a una expresión matemática simple que transforma un grupo de variables de “entrada” en una “salida” de resultados, sin tratar ni siquiera de describir el proceso bajo estudio. Los modelos de regresión y muchos modelos estadísticos son buenos ejemplos de modelos predictivos empíricos. Los modelos empíricos son generalmente sencillos, requieren menos datos que los causales y resultan, por lo tanto, menos costosos tanto en su elaboración como en su utilización. Pero tienen la desventaja de no poder ser mejorados, ni extendidos más allá de las condiciones en las cuales fueron elaborados. Por ello, pueden ser fácilmente aplicados en forma incorrecta y, además, conducir utilizadores sin capacidad crítica, a muchas confusiones en la interpretación de los procesos bajo estudio (Castro y Hétier, 2015).

Los modelos causales o “mecanicistas” tienen el propósito de describir de una manera más exacta y verificable posible, los procesos físicos, químicos y biológicos implicados en la relación suelo-planta a partir de los datos de entrada disponibles. Este tipo de modelos pueden ser usados para predecir respuestas de procedimientos de fertilización, evaluar el efecto de cambio ambiental, coordinar y estructurar investigación, siendo sus principales desventajas el de requerir mayores volúmenes de datos y extensivos preliminares para su calibración y validación (Castro y Hétier, 2015).

### **2.2.3. DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer CERES-Maize*)**

CERES-Maize (*Crop Environmental Resource Synthesis*) es un modelo dinámico, con algunas partes mecanicistas y otras empíricas, que simulan el desarrollo, el crecimiento y el rendimiento del maíz. Durante el ciclo, el modelo calcula cada día, el avance de la fenología, la tasa de crecimiento y el reparto de biomasa entre los órganos en fase de crecimiento. Cuando el agua y el nitrógeno no limitan el crecimiento (crecimiento potencial del cultivo), los procesos simulados se ven afectados por los valores que toman las principales variables ambientales (radiación solar, temperatura máxima y mínima diaria y concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico), factores específicos del cultivar empleado, y las prácticas de cultivo (fecha de siembra, densidad de plantas y distancia

entre líneas). Este modelo de cultivo, como todos los incluidos en el software del DSSAT, permite también simular el desarrollo y crecimiento del cultivo en entornos donde el agua y el nitrógeno son limitantes, cuando las opciones de balance de agua y nitrógeno están activadas. En estas circunstancias, el modelo realiza a diario un balance hídrico y de nitrógeno, del cual derivan unos factores de déficit que permiten modular el crecimiento respecto del potencial (Sau *et al.*, 2010).

CERES-Maize contabiliza los efectos del clima, tipo de suelo, el genotipo, los efectos del cultivo y se utiliza un intervalo de tiempo diario para calcular el crecimiento de los cultivos y para simular los balances de agua y nitrógeno (Quiring y Legates, 2008). El CERES-Maize ha sido ampliamente utilizado para investigar diversos aspectos del crecimiento del maíz, incluyendo el cálculo de área foliar, la expansión de la hoja y la senescencia, la asimilación de la hoja, la captura de luz, número de granos y ensilado (Castro y Hétiér, 2015).

#### **2.2.3.1. Datos requeridos por el modelo**

##### **2.2.3.2. Clima**

Los datos meteorológicos mínimos requeridos incluyen: latitud y longitud de la estación meteorológica, valores diarios de radiación solar ( $\text{MJ}/\text{m}^2\text{-día}$ ), temperaturas máximas y mínimas diarias ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitación total diaria (mm), velocidad del viento (km/hora) y humedad relativa (%) (Jones *et al.*, 2003).

##### **2.2.3.3. Suelo**

Los datos de suelo deseados incluyen la clasificación del suelo (SCS), la pendiente de la superficie, el color, la permeabilidad y la clase de drenaje. Los datos del perfil del suelo por horizontes del suelo incluyen: profundidad del horizonte superior e inferior (cm), porcentaje de contenido de arena (Ar %), limo (Lo %) y arcilla (Ar %), densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ), barra de 1/3, carbono orgánico (%), pH en el agua, saturación de aluminio, factor de crecimiento de las raíces, coeficiente de drenaje y conductividad eléctrica (Jones *et al.*, 2003).

##### **2.2.3.4. Manejo del cultivo**

Los datos de manejo incluyen información sobre la fecha de siembra, las fechas en que se midieron las condiciones del suelo antes de la siembra, la densidad de siembra, el

espaciamiento entre hileras, la profundidad de siembra, la variedad de cultivo, el riego y las prácticas de fertilización. Estos datos son necesarios tanto para la evaluación del modelo como para el análisis de la estrategia (Jones *et al*, 2003).

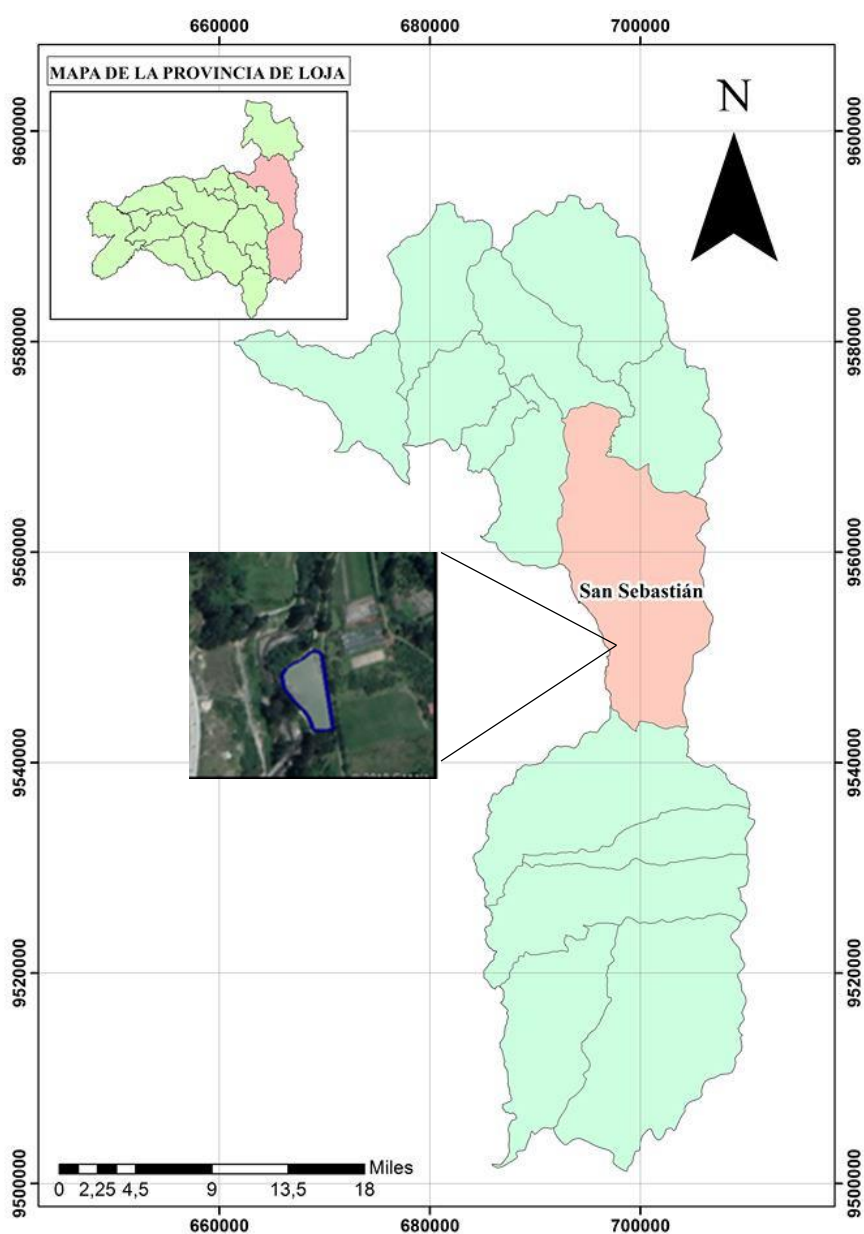
Además de los datos de suelo, clima y los datos experimentales incluyen datos de crecimiento del cultivo, agua del suelo y mediciones de fertilidad. Estos son los datos observados que se necesitan para la evaluación del modelo.

El modelo DDSAT requiere información para cada genotipo del cultivo de maíz para calibrar el modelo, esto supone que se debe contar con la siguiente información. Coeficientes: **P1**: Tiempo térmico de emergencia de las plántulas hasta el final de la juvenil de la fase (expresado en días-grado por encima de una temperatura base de 8 °C) durante el cual la planta no es sensible a los cambios del fotoperíodo; **P2**: Grado en el cual el desarrollo (expresado en días) se retrasa cada hora de incremento en el fotoperíodo por encima del más largo fotoperíodo en la que el desarrollo avanza a una velocidad máxima (se considera que 12,5 horas); **P5**: Tiempo térmico de emisión de estigmas a la madurez fisiológica (expresado en días-grado por encima de una temperatura base de 8 °C); **G2**: Número máximo posible de granos por planta; **G3**: Coeficiente de Velocidad de llenado durante la etapa de llenado lineal del grano en condiciones óptimas (mg / día) (Fernández, 2013).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en la Quinta Experimental Docente La Argelia, sector Los Molinos, de la Universidad Nacional de Loja ubicado en la parroquia urbana de San Sebastián. Se encuentra a una latitud de 4.04° Sur, una longitud de 79.20° Oeste y una altitud de 2138 m.s.n.m. (Figura 3). La zona de estudio presenta una temperatura media de 16.1 °C, precipitaciones de 1089.3 mm anuales y una humedad relativa del 74 %. De acuerdo con el análisis de suelo, posee un pH de 4.8 y 1.5 % de materia orgánica.



**Figura 3.** Localización del estudio, Quinta Experimental Docente La Argelia, perteneciente a La Universidad Nacional de Loja, de la parroquia urbana San Sebastián.



### 3.2. Materiales

**Material de laboratorio:** Probetas, pipetas, vasos de precipitación, termómetro, platos de cerámica, anillos de hule, anillos de acero inoxidable, bureta, matraz, mortero, desecador.

**Equipos:** Tensiómetros, estufa, ollas de presión, compresor de aire, balanza analítica, equipo Kjeldahl.

**Sustancias:** Agua destilada. Ácido sulfúrico, ácido ortofosfórico, solución de Dicromato de Potasio 1 N, difenilamina, catalizador, ácido sulfúrico concentrado.

**Insumos:** Humus, Semilla *Zea mays* var INIAP-103, fertilización química (10-30-10), urea, cloruro de potasio, fuerza verde, herbicida (Herboxone).

**De campo:** Barretas, palas, muestreador, cilindros kopecky, tabla Munsell, espátula, combo, martillo, fundas plásticas, fundas de papel, lampa, azadón, balde, cinta masking, periódico, cajas de madera, marcador indeleble, cinta numérica, cámara fotográfica, letreros, bomba de fumigar, etiquetas, estacas y saquillos.

**De oficina** Computadora, programa estadístico SAS, programa DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) (CERES-Maize), material bibliográfico, programa Microsoft Excel, libreta de campo e impresora.

### 3.3. Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con dos densidades de siembra: Tratamiento T1 = 75000 plantas ha<sup>-1</sup> (3 semillas por golpe cada 0.50 m, con 0.80 m entre surco) y Tratamiento T2 = 62500 plantas ha<sup>-1</sup> (1 semilla por golpe cada 0.20 m, con 0.80 m entre surco); con cuatro repeticiones cada tratamiento. En total se establecieron ocho unidades experimentales (UE) en parcelas de 56 m<sup>2</sup> (7 x 8 m cada una), con un área total del ensayo de 836 m<sup>2</sup>.

### 3.4. Delineamiento experimental

Las características del experimento se expresan a continuación:

**Tabla 2.** Características del ensayo establecido en el Sector Los Molinos, Quinta Experimental Docente La Argelia.

<b>Número de tratamientos</b>	2	
<b>Número de repeticiones</b>	4	
<b>Tamaño de la parcela</b>	7 m x 8 m	
<b>Número de unidades experimentales</b>	8	
<b>Distancia entre surcos</b>	0.8 m	
<b>Distancia entre parcelas</b>	2.00 m	
<b>Número de surcos por parcela</b>	10	
<b>Distancia entre plantas</b>	0.5 m	0.2 m
<b>Semillas por golpe</b>	<b>3*</b>	1
<b>Número de plantas por surco</b>	<b>42</b>	35
<b>Número de plantas por parcela</b>	<b>420</b>	350
<b>Número total de plantas por tratamiento</b>	<b>1680</b>	1400
<b>Número total de plantas por hectárea</b>	<b>75000</b>	62500
<b>Número total de plantas por ensayo</b>	3080	
<b>Área total</b>	864m <sup>2</sup>	

\*datos tratamiento 1

### 3.5. Metodología General

Con el propósito de contribuir a mejorar la soberanía alimentaria y contrarrestar los efectos de la variabilidad y cambio climático, se estableció el cultivo de maíz blanco en secano bajo dos densidades de siembra: 3 semillas por golpe cada 0.5 m (manejo tradicional de la región), y 1 semilla por golpe cada 0.2 m. Se determinó la fenología e integral térmica. Además, se evaluó el crecimiento de las plantas, así como la biomasa y materia seca de cada órgano de la planta a *silking* y madurez fisiológica. Se realizó la comparación del rendimiento en las dos densidades de siembra. Con los datos obtenidos de los ensayos, se efectuó la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize construyendo la base de datos del clima, suelo y manejo del cultivo.

**3.5.1. Metodología para el primer objetivo: “Determinar la fenología y crecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) de altura var. INIAP-103 relacionada a la integral térmica”.**

Se estableció el cultivo de maíz variedad INIAP-103 a una densidad de siembra de 75000 plantas ha<sup>-1</sup> y 65200 plantas ha<sup>-1</sup>

**Fenología:** El muestreo se realizó a partir del surco 2 hasta el 9 eliminando los efectos de borde. Para determinar la fenología, se registró las fechas de siembra, emergencia, aparición de las hojas, antesis (floración masculina), *silking* (floración femenina) y madurez fisiológica.

Para la determinación de la fecha de emergencia se marcaron 2 surcos de 8 m de longitud, cada 3 días se procedió a contar el número de plantas emergidas en 2 hileras consecutivas. Los datos se ajustaron a una curva sigmoideal a las observaciones y se determinó el 50% de la población considerando como fecha de emergencia.

Para determinar la fecha de aparición de las hojas se revisó semanalmente y se escribió en el ápice de cada hoja con marcador indeleble, las hojas 1, 2, 3..., 11, 12, n, en donde “n” representa el número total de hojas hasta la floración.

La fecha de antesis y *silking* se determinó marcando en cada repetición 5 m de longitud. Se contaron el número de plantas totales en dos hileras consecutivas en esos 5 m y luego se revisó cada 3 días el número de plantas con anteras visibles y el número de plantas con estigmas visibles. A estos datos registrados, se ajustó una curva sigmoideal y se determinó como fecha de floración masculina y femenina cuando el 50% de plantas se encontraban en floración masculina y femenina, respectivamente.

Para determinar madurez fisiológica se consideró cuando el crecimiento del grano se detuvo, la humedad del grano se encontraba aproximadamente en un 35%. Para ello, se tomó semanalmente una mazorca por repetición, y se evaluó la humedad y peso seco del grano en el laboratorio. En la madurez fisiológica, se tomaron 2 mazorcas por repetición y se las llevó al laboratorio con sus brácteas en bolsas de plástico. Una vez en el laboratorio, se pelaron, se partieron por la mitad y se pesaron 30 granos de la zona central de la mazorca, se contó el número de granos, se determinó peso seco y % de humedad.

**Curva sigmoideal:** Para la realización de las curvas sigmoideales para emergencia y floración se aplicó la siguiente formula:

$$Y = Ax / (1 + EXP(-k*(DDS - Xc)))$$

**Donde:**

Ax = Es el valor máximo de la curva. Si no llega a 100 nos indica que hubo plantas que no emergieron o florecieron (antes y/o sedas)

k= pendiente de la curva. Indica que tan rápido sucedieron los eventos de emergencia o floración en el tiempo

Xc = Es la fecha en que asignamos la ocurrencia del evento, cuando el 50% del evento (cambio en la pendiente).

**Integral térmica:** Para el cálculo de la integral térmica para cada fase, se sumaron los grados día acumulados y aplicando la siguiente formula:

$$IT = \sum_{k = inicio\ fase}^{fin\ de\ fase} (Tm - Tb)$$

**Donde:**

IT = Integral térmica

Tm = Temperatura media diaria  $Tm = \frac{(Temperatura\ máxima - Temperatura\ mínima)}{2}$

Tb= Temperatura base (cero) vital de crecimiento del maíz (Tb = 8)

**Crecimiento:** Para el crecimiento se midieron variables como: altura de planta (cm), número de hojas a *silking*, índice de área foliar a *silking* (IAF = largo\*ancho\*0,75). Además, se evaluó el número de hoja seca semanalmente durante la etapa vegetativa y dos veces por semana durante el llenado de grano, considerando valores en porcentaje de 25, 50, 75 y 100 %. También se determinó la biomasa y materia seca a *silking* y madurez fisiológica de cada órgano de la planta. Se pesaron por separado la flor, hojas, tallo + vaina, mazorca con y sin grano en fresco, luego se los colocó en la estufa a 105 °C por 24 horas, donde se determinó el peso de los diferentes órganos de las plantas.

### 3.5.2. Metodología para el segundo objetivo: “Comparar los rendimientos de maíz bajo dos densidades de siembra en secano”.

Para comparar los rendimientos de maíz bajo dos densidades de siembra (75000 plantas ha<sup>-1</sup> y 62500 plantas ha<sup>-1</sup>), se tomaron los datos de rendimiento de los surcos centrales (5 y 6) de los dos tratamientos y se compararon los resultados expresándolos en kg ha<sup>-1</sup>. Se tomó en cuenta el número total de plantas y número total de mazorcas con grano. Además, se determinó el número de *kernel* y el peso de *kernel* (número de granos/peso del grano) de todas las mazorcas por repetición (Tollenaar *et al.*, 1992; Andrade *et al.*, 1999) y el porcentaje de N en grano a la cosecha de cada repetición.

### 3.5.3. Metodología para el tercer objetivo: “ Evaluar y calibrar el modelo CERES-Maize para el cultivo de maíz de altura mediante ensayos de campo”.

**Base de datos del suelo:** Se construyó una calicata de 120 cm de profundidad, determinándose 4 horizontes, color del suelo, textura según la Ley de Stokes, estructura, densidad aparente, carbono orgánico y materia orgánica según el Método de Walkley Black, y las constantes hidrofísicas de cada horizonte.

**Base de datos del clima:** Se solicitaron datos climáticos al INAMHI durante los meses de octubre 2018 – junio 2019. Las variables solicitadas son los datos diarios de precipitación (mm), temperatura máxima, media y mínima (°C), humedad relativa (HR %), velocidad del viento (km h<sup>-1</sup>) y radiación (MJ m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup>).

**Base de datos del cultivo:** Se preparó el archivo de manejo del cultivo en el que se incluyó la fecha de siembra, densidades de siembra (distancia entre surcos y entre plantas), las fechas y dosis de fertilización, controles fitosanitarios y labores culturales, manejo del riego si es el caso.

**Calibración del modelo:** Dentro de la plataforma digital de DSSAT se encuentra los cultivos de cereales (*Cereals*) y dentro de estos el maíz (*Maize*). La plataforma fue cargada con los datos de clima, suelo y manejo para poder simular correctamente. La calibración se realiza modificando los coeficientes genéticos: P1, P2, P5, G2 G3 y PHINT, respectivamente. Los valores de P1 representan las unidades térmicas desde emergencia hasta el final de la etapa juvenil, P2 son las unidades térmicas durante la etapa juvenil, P5 las unidades térmicas durante el llenado de grano, G2 es el número

potencial de granos por mazorca por planta, G3 determina la velocidad de llenado del grano y PHINT son las unidades térmicas entre la aparición de cada hoja. Se integra los coeficientes genéticos para ajustar la fenología (fecha de emergencia, floración y madurez fisiológica), rendimiento, biomasa, IAF y contenido de nitrógeno en grano.

Para determinar el ajuste entre los valores simulados y observados se utilizó el error cuadrático medio normalizado (RMSEP) aplicando la siguiente formula:

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_1^n ((Yobs - Ysim)/Yobs)^2}{n}} \times 100$$

### **Donde**

*Yobs* = rendimiento observado

*Ysim* =rendimiento simulado

*n* = número total de datos

### **Análisis estadístico**

En el análisis estadístico se utilizó un modelo de medidas repetidas a través del procedimiento MIXED del SAS (SAS University Edition, 2019), en donde el efecto fijo fue el tratamiento; el bloque, los días post emergencia; y la variable aleatoria la unidad experimental (parcela) anidada al tratamiento. Los p-valores < 0,05 fueron consideradas como significativos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Crecimiento y Desarrollo

De acuerdo con la descripción fenológica para maíz de Weber y Bleiholder (1990) y Lancashire et al. (1991), se identificaron 11 etapas fenológicas: siembra, emergencia, 4ta hoja verdadera, 8<sup>va</sup> hoja verdadera, 12<sup>va</sup> hoja verdadera, floración masculina (antesis), floración femenina (*silking*), grano acuoso, grano lechoso, grano masoso y madurez fisiológica. La Tabla 3, muestra la fenología a lo largo del ciclo del cultivo, bajo dos densidades de siembra, donde se observan diferencias en los dos tratamientos (T1:3 semillas por golpe a 0.5 x 0.8 m y T2:1 semilla por golpe 0.2 x 0.8 m) en la etapa de emergencia, 4 hoja verdadera, 8 hoja verdadera, alcanzando más rápido estas fases el T1 con una densidad de siembra de 3 semillas, sin embargo, estas diferencias no son significativas.

**Tabla 3.** Fenología de cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo) en los diferentes tratamientos.

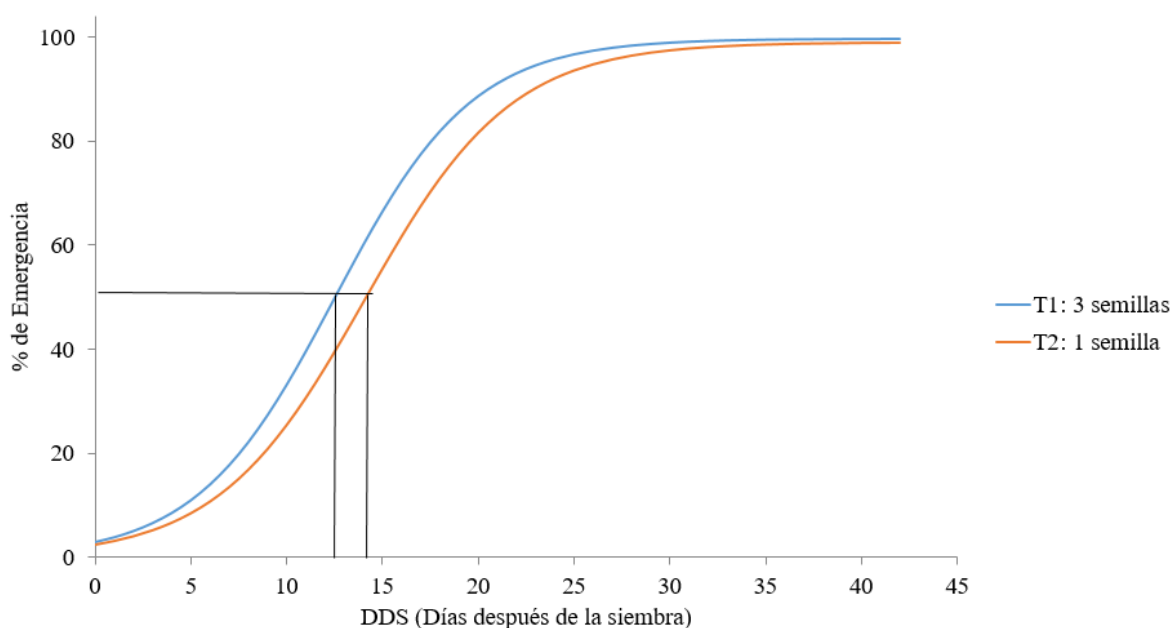
FASES FENOLÓGICAS	TRATAMIENTOS			
	3 SEMILLAS		1 SEMILLA	
	Fecha	DDS	Fecha	DDS
Siembra	9/11/2018	0	9/11/2018	0
Emergencia	21/11/2018	12	23/11/2018	14
4 hojas verdaderas	8/01/2019	60	13/01/2018	65
8 hojas verdaderas	04/02/2019	87	09/02/2019	92
12 hojas verdaderas	26/02/2019	109	26/02/2018	109
Floración masculina	28-02-2019	111	28-02-2019	111
Floración femenina	13/03/2019	124	13/03/2019	124
Grano acuoso	27/03/2019	138	27/03/2019	138
Grano lechoso	16/04/2019	158	16/04/2019	158
Grano masoso	02/05/2019	174	02/05/2019	174
Madurez fisiológica	06/06/2019	209	06/06/2019	209
<b>TOTAL</b>		<b>209</b>		<b>209</b>

**DDS:** Días después de la siembra

## Fases Fenológicas

### 4.1.1.1. Emergencia

En la Figura 4, se presenta la curva sigmoideal del porcentaje de emergencia del cultivo de maíz, en el cual se observan diferencias entre los dos tratamientos, teniendo que en el tratamiento de 3 semillas por sitio se encontró el 50% de plantas emergidas a las 12 DDS y en 1 semilla por sitio a los 14 DDS, además de una emergencia del total de plantas evaluadas a los 42 DDS en ambos tratamientos (Ver anexo 1).

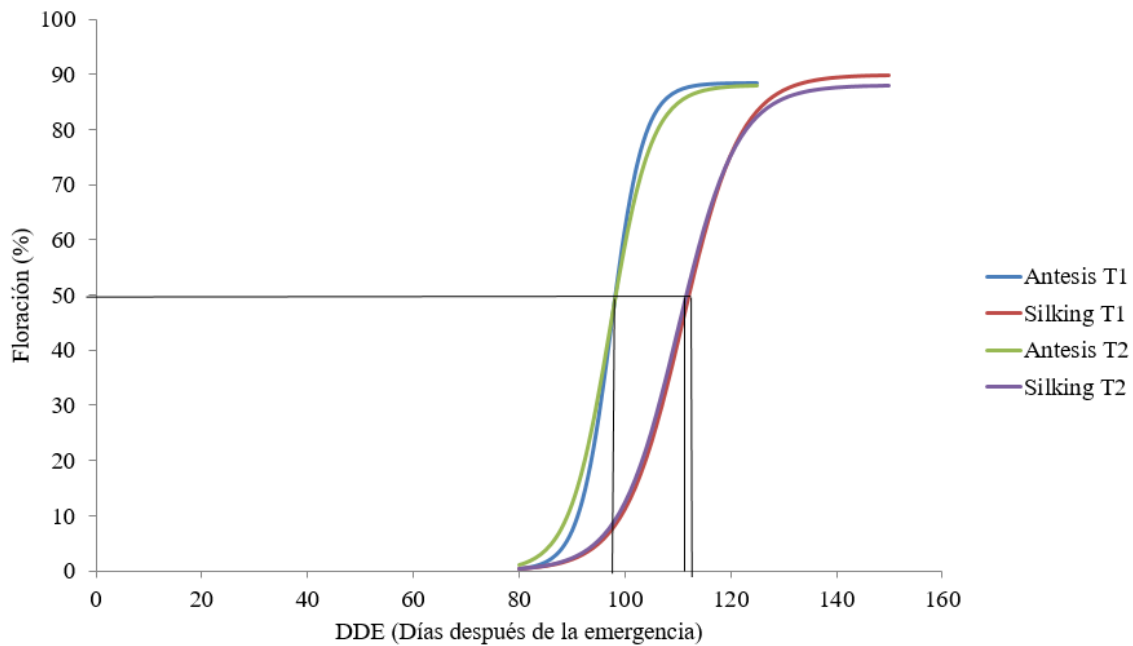


**Figura 4.** Curva sigmoideal del porcentaje de emergencia del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 "Mishqui Sara" (Maíz nutritivo) en los diferentes tratamientos.

### 4.1.1.2. Floración

En la Figura 5, se presenta el porcentaje de floración masculina (anthesis) y floración femenina (*silking*), en el cual no se observó diferencias en los dos tratamientos, encontrándose el 50 % de plantas en floración masculina (anthesis) a los 98 DDE. Tampoco se observaron diferencias significativas entre los dos tratamientos a floración femenina (*silking*), encontrándose el 50 % de plantas en floración femenina para el T1 a los 113 DDE y para el T2 a los 112 DDE.





**Figura 5.** Curva sigmoide del porcentaje de floración del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo) en los diferentes tratamientos.

#### 4.1.2. Integral térmica

En la Tabla 4, se presenta la integral térmica calculada a partir de la temperatura media durante el ciclo de cultivo y el número de días necesarios para alcanzar la siguiente fase fenológica. Para el T1 (3 semillas) se necesitó un total de 1869.50 °C, para llegar a la cosecha a los 209 DDS, mientras que para el T2 (1 semilla) se necesitó un total de 1871.45 °C, para llegar a la cosecha a los 209 DDS. Entre los dos tratamientos evaluados no existen diferencias significativas (1.95 °C) en la acumulación de °C, hasta la cosecha, sin embargo, difieren en el número de días utilizados para alcanzar las diferentes fases fenológicas (emergencia, 4 y 12 hoja verdadera, flor femenina, grano acuoso, grano lechoso y grano masoso) siendo más rápido el T1 (3 semillas).

**Tabla 4.** Integral térmica (IT) y tiempo cronológico (días) del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo) por etapa fenológica en los diferentes tratamientos.

FENOFASE	T1 (3 Semillas)				T2 (1 Semilla)		
	Tb (°C)	IT (°C día)	°C (Acum)	Días	IT (°C día)	°C (Acum)	Días
<b>Siembra-Emergencia</b>	8	141,90	141,90	12	163,70	163,70	14
<b>Emergencia-4 HV*</b>	8	395,10	537,00	48	417,92	581,62	51
<b>4 HV-8 HV</b>	8	228,43	765,43	27	232,70	814,32	27
<b>8 HV-12 HV</b>	8	200,67	966,10	22	153,73	968,05	17
<b>12 HV-Flor masculina</b>	8	18,93	985,03	2	18,93	986,98	2
<b>Flor masculina-Flor femenina</b>	8	118,87	1103,90	13	118,87	1105,85	13
<b>Flor femenina – grano acuoso</b>	8	139,10	1243,00	15	129,57	1235,42	14
<b>Grano acuoso – grano lechoso</b>	8	177,40	1420,40	19	186,93	1422,35	20
<b>Grano lechoso – grano masoso</b>	8	146,97	1567,37	16	170,43	1592,78	19
<b>Grano masoso - madurez fisiológica</b>	8	302,13	1869,50	35	278,67	1871,45	32
<b>Total (Siembra – Cosecha)</b>	8	1869,50		209	1871,45		209

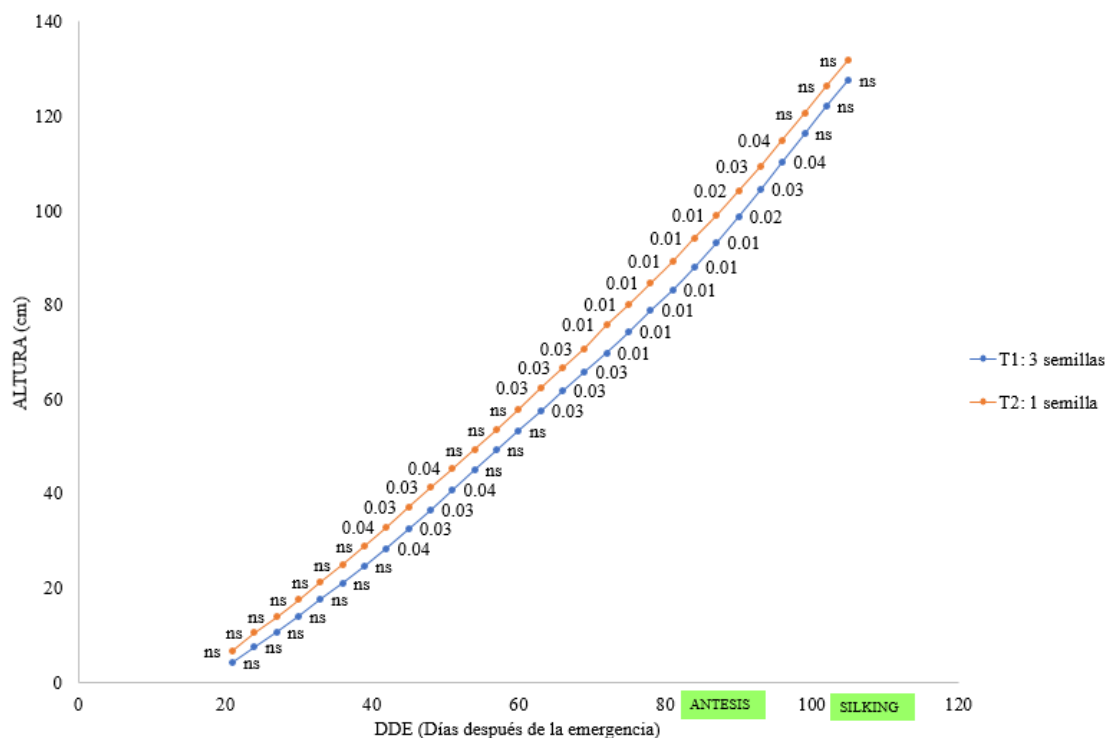
\*HV: Hojas verdaderas

### 4.1.3. Crecimiento

#### 4.1.3.1. Altura

Se presenta la altura media de las plantas de maíz expresadas en cm desde la emergencia hasta los 105 DDE, en las cuales se observan diferencias significativas entre las dos densidades de siembra a los días 42 al 51 DDE y del 63 al 96 DDE, con p-valores inferiores a 0.05. La mayor altura de plantas se encontró en el tratamiento 2 (1

semilla por golpe) con un promedio de 132 cm; mientras que el tratamiento 1 (3 semillas por golpe) presentó una altura promedio de 128 cm (Ver anexo 2).

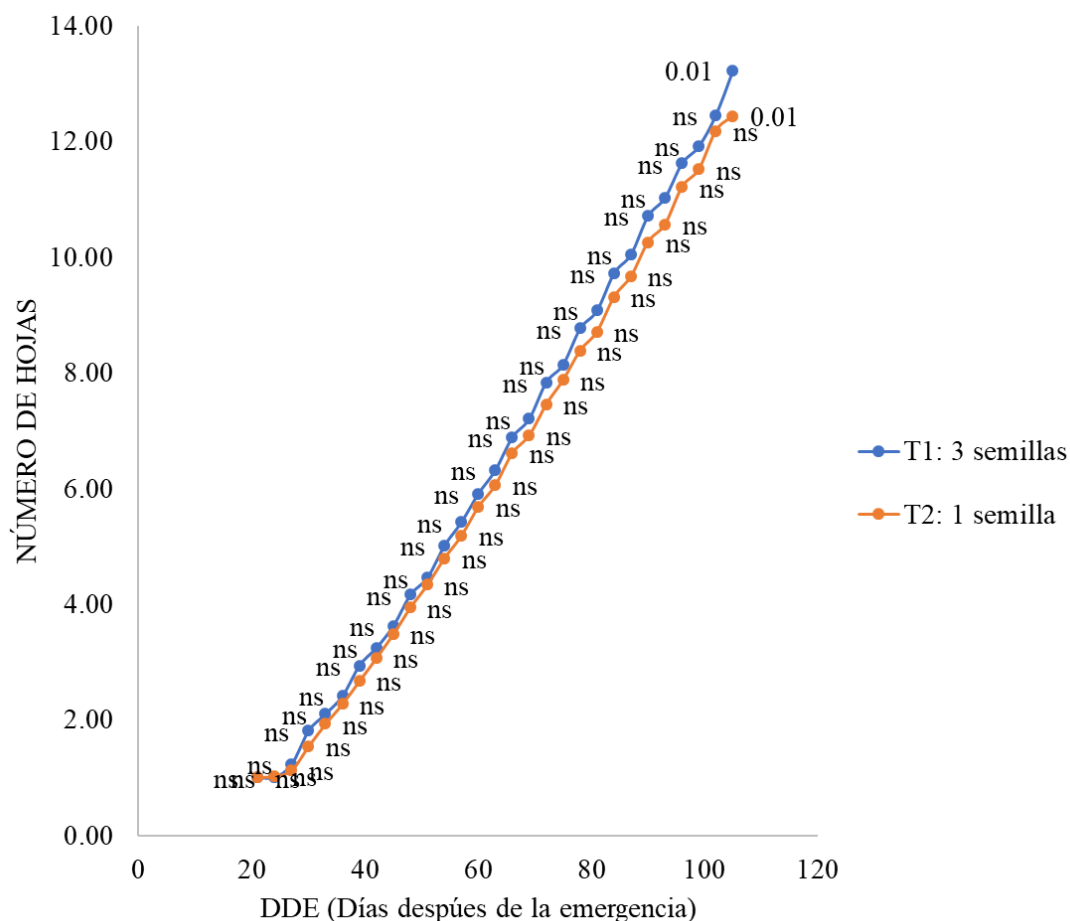


**Figura 6.** Curva de crecimiento del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo).

En la Figura 6, se muestra la curva de crecimiento del cultivo de maíz sometido a dos densidades de siembra (T1: 3 semillas, y T2:1 semilla), donde se puede observar que la altura en el T2 (1 semilla) es superior al T1 (3 semillas) durante todo el ciclo del cultivo. Las máximas alturas se alcanzaron en torno a la floración.

#### 4.1.3.2. Número de hojas

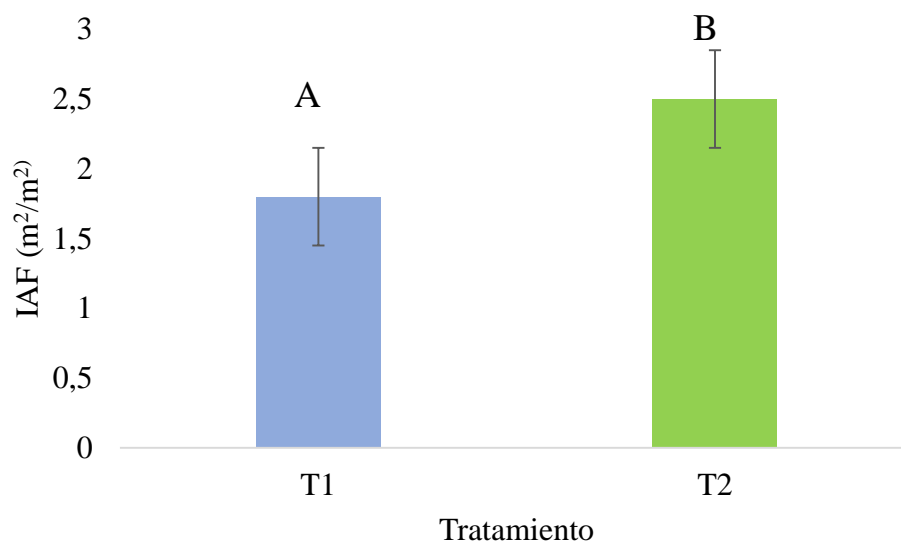
Se presentan las medias de número de hojas de las plantas de maíz desde la emergencia hasta los 105 DDE (fecha donde se alcanzó el máximo número de hojas), en las cuales se observan diferencias significativas en el número final de hojas. El mayor número de hojas (14) se presentó en el tratamiento 1, y el menor (13) en el tratamiento 2. Sin embargo, en cuanto a la aparición de las hojas, desde la hoja 1 hasta la 12, no se encontró diferencias entre los tratamientos (Figura 7) (Ver anexo 3).



**Figura 7.** Curva del número de hojas del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo).

#### 4.1.3.3. Índice de área foliar (IAF)

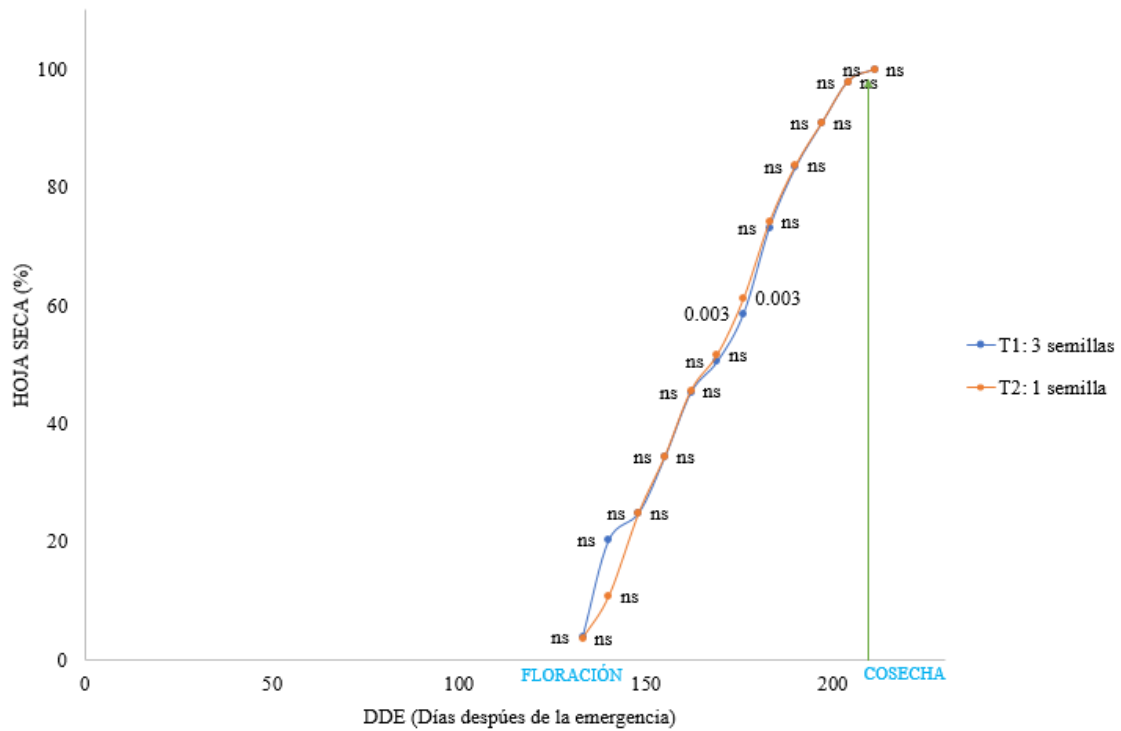
En cuanto al IAF a *silking* del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara”, los resultados muestran diferencias significativas ( $p$ -valor = 0.016) entre las distintas densidades de siembra, obteniendo mayor IAF ( $2.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ ) en el tratamiento 2 (1 semilla por golpe), que en el tratamiento 1 ( $1.8 \text{ m}^2/\text{m}^2$ , 3 semillas por golpe) (Figura 8).



**Figura 8.** Índice de área foliar del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo).

#### 4.1.3.4. Porcentaje de hoja seca

La senescencia de las hojas empieza aproximadamente un mes después de la floración femenina (133 DDE), entre grano acuoso y lechoso. En la Figura 9, se presenta las medias de porcentaje de hoja seca de las plantas de maíz desde la emergencia hasta la cosecha, en las cuales se observan diferencias significativas entre las dos densidades de siembra a los días 176 DDE (p-valor = 0.003). En esta fecha el tratamiento 2 (62 %) alcanza mayor porcentaje de hoja que el tratamiento 1 (59 %). Sin embargo, a partir de este momento, el porcentaje de hoja seca del cultivo de maíz sometido a dos densidades de siembra (3 semillas y 1 semilla por golpe) es similar (Ver anexo 4).

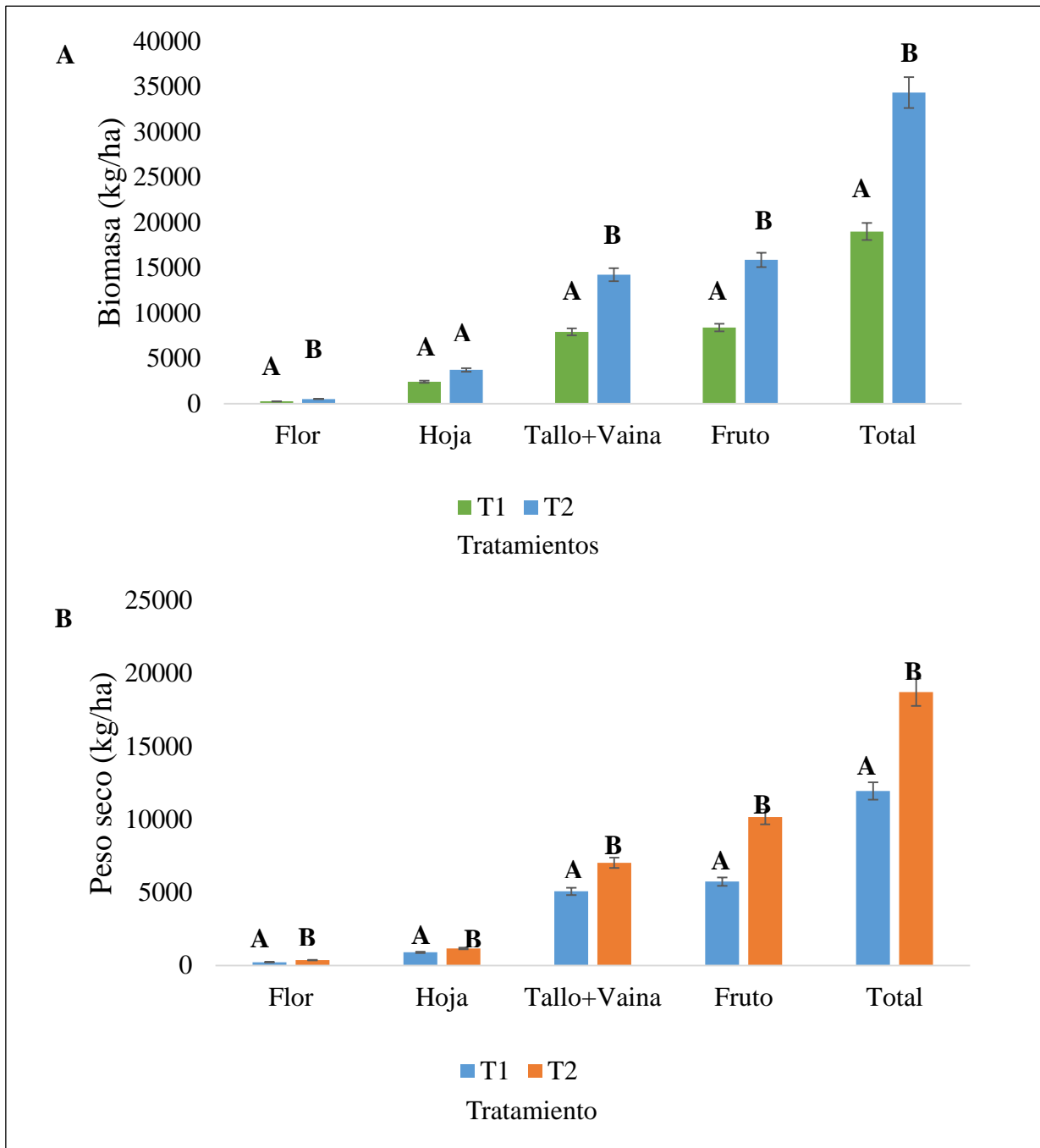


**Figura 9.** Curva de porcentaje de hoja seca del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).

#### 4.1.3.5. Biomasa y peso seco

##### - Biomasa y peso seco a *silking* (floración femenina)

Se observa diferencias significativas en cuanto a la biomasa de la flor, tallo + vaina, fruto y biomasa total, presentando mayor biomasa el T2 que el T1. Sin embargo, no se observan diferencias significativas en cuanto a pesos seco de los diferentes órganos, aunque los pesos son mayores en el T2 (Ver Anexo 2).

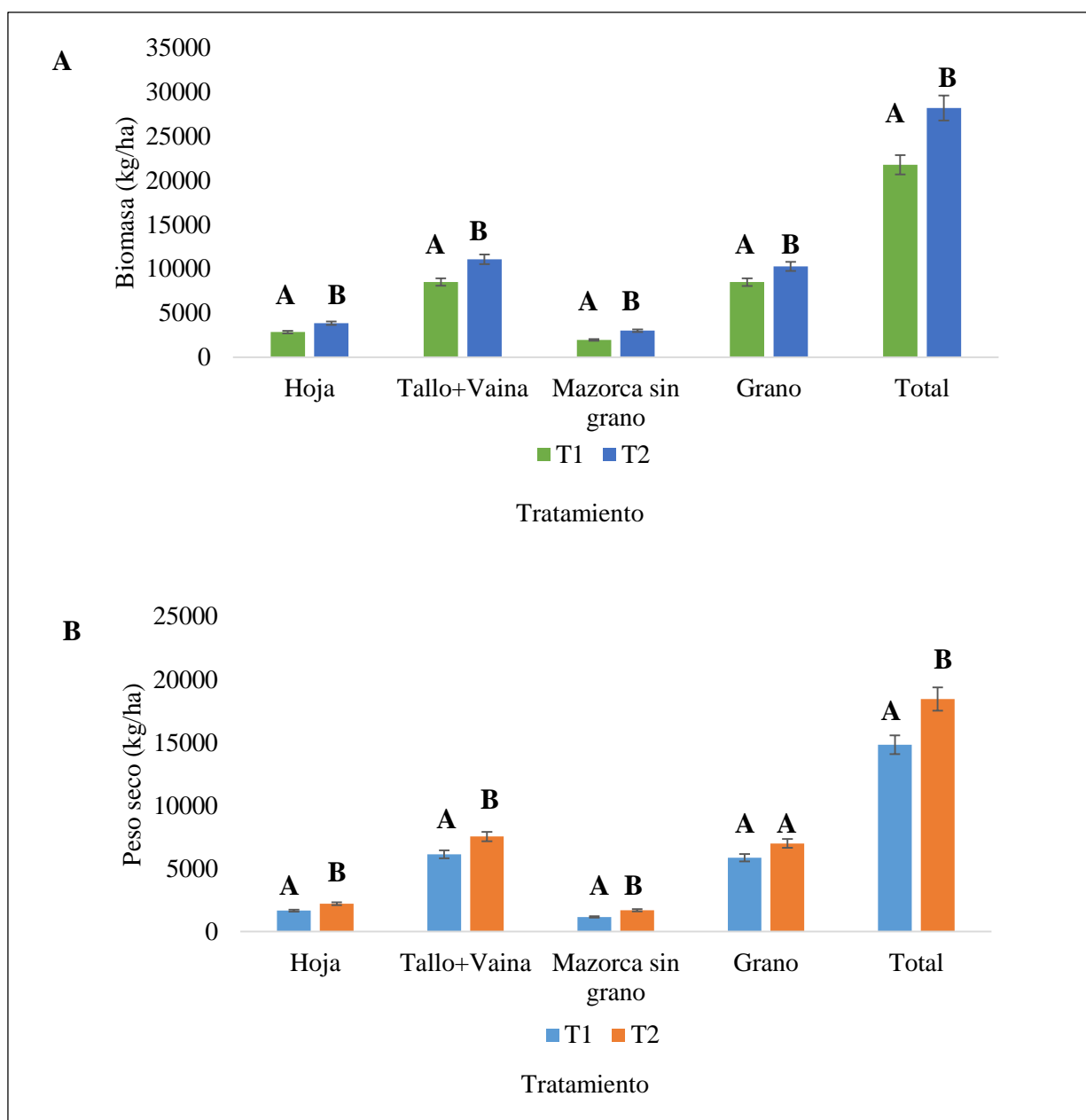


**Figura 10.** Biomasa (A) y Peso seco (B) a silking del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo).

En la figura 10 A y B, se observa la biomasa a *silking* en los diferentes órganos del cultivo de maíz sometido a dos densidades de siembra (3 semillas y 1 semilla), donde se puede observar diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo mayor biomasa en T2, esto debido a que el T2 presento mayor desarrollo de los órganos de la planta de maíz.

### - Biomasa y peso seco a madurez fisiológica en los dos tratamientos

Se observa diferencias significativas en cuanto a la biomasa de las hojas, tallo + vaina, mazorca sin grano y biomasa total, presentando mayor biomasa y peso seco el T2 que el T1 (Ver anexo 3).



**Figura 11.** Biomasa (A) y Peso seco (B) a madurez fisiológica del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo).

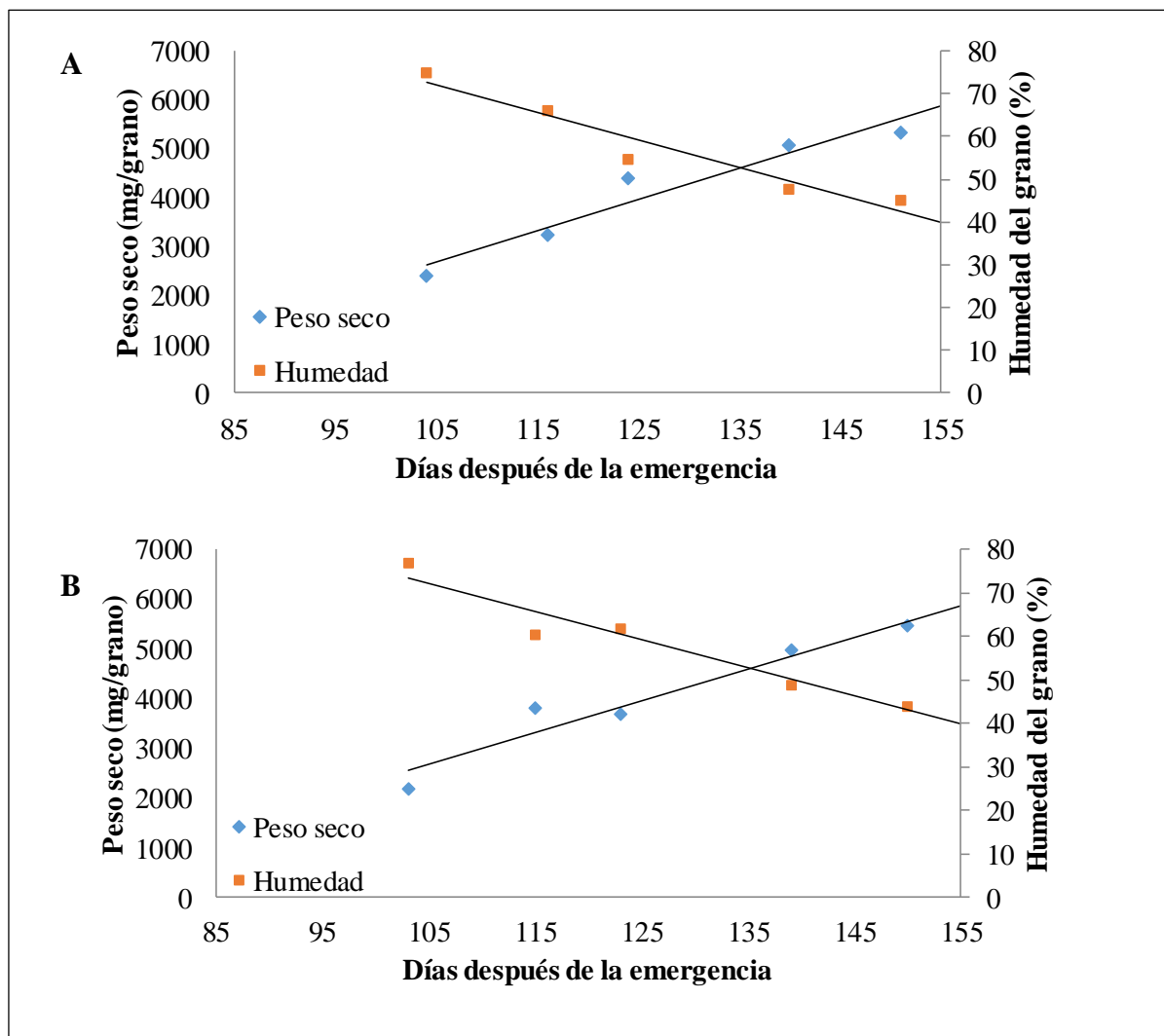
En la Figura 11 A y B, se observa la biomasa y peso seco a madurez fisiológica en los diferentes órganos del cultivo de maíz sometido a dos densidades de siembra (3 semillas



y 1 semilla), donde se puede observar que mayor peso obtuvo el tallo + vaina, seguido de los granos y las hojas y obteniendo un menor peso la mazorca sin granos.

**- Peso seco y humedad del grano**

En la Figura 12 A y B, se observa el peso seco y la humedad del grano del cultivo de maíz sometido a dos densidades de siembra (3 semillas y 1 semilla), estos datos fueron tomados cada 15 días desde el llenado de los granos; donde se puede observar que no existen diferencias entre los dos tratamientos.



**Figura 12.** Peso seco y humedad del grano del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo): Tratamiento 1 (A) y Tratamiento 2 (B).

**- Peso de Kernel**

No se observa diferencias significativas en el peso de *kernel* y porcentaje de nitrógeno del grano entre los dos tratamientos (Tabla 5). El peso de 100 granos del maíz INIAP

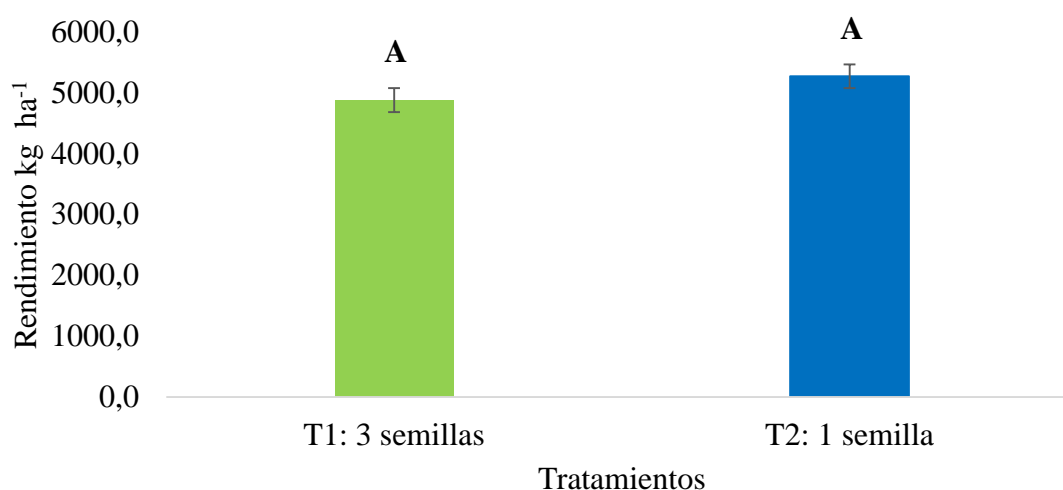
103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo) es de 47.55 gramos en los dos tratamientos; con un % de Nitrógeno a base seca de 1.04 y 1.07 para T1 y T2 respectivamente.

**Tabla 5** Peso de *Kernel* y porcentaje de nitrógeno del grano de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).

	TRATAMIENTO	
	T1 ( 3 SEMILLAS)	T2 ( 1 SEMILLAS)
Número de granos promedio	257	280
Peso 100 de granos (g)	47.5	47.6
Peso de <i>Kernel</i> en g	2.11	2.10
% de N a base húmeda	6.47	6.66
% de N a base seca	1.04	1.07

#### 4.2. Rendimientos

En la Figura 13, se observa el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L) variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo), a dos densidades de siembra. No se observaron diferencias significativas entre los dos tratamientos, sin embargo, el tratamiento 2 presentó un rendimiento más alto (5269.6 kg ha<sup>-1</sup>), frente a 4876.7 kg ha<sup>-1</sup> del tratamiento 1.



**Figura 13.** Rendimiento de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).

### 4.3. Calibración del modelo DSSAT CERES-Maize

#### 4.3.1. Base de datos suelo

En la Tabla 6, se presenta el análisis de suelo realizado en el Laboratorio de Bromatología, Suelos y Agua de la UNL. Se determinó la textura de los diferentes horizontes del suelo, donde predomina la textura franco hasta los 85 cm. Además, se encontraron valores muy bajos de CO y MO de 0.74 y 1.31, respectivamente, en los primeros 22 cm de profundidad.

**Tabla 6.** Características físico – químicas del perfil del suelo de la Quinta Experimental Docente La Argelia.

Profundidad	% Ar	% Lo	%Ac	CO	MO	Textura	Color del suelo
0-22 cm	51.75	23.69	24.56	0.74	1.37	Franco arcillo arenoso	Gris marrón
23-48 cm	25.37	52.65	21.98	0.63	0.74	Franco limoso	Gris marrón
49 -85 cm	38.36	49.64	12.00	0.28	0.45	Franco	Marrón oliva claro
86-120 cm	44.38	14.62	41.00	0.39	0.19	Arcillo arenoso	Marrón oliva

**%Ar:** Arena, **%Lo:** Limo y **% Ac:** Arcilla, **CO:** Carbono orgánico, **MO:** Materia orgánica.

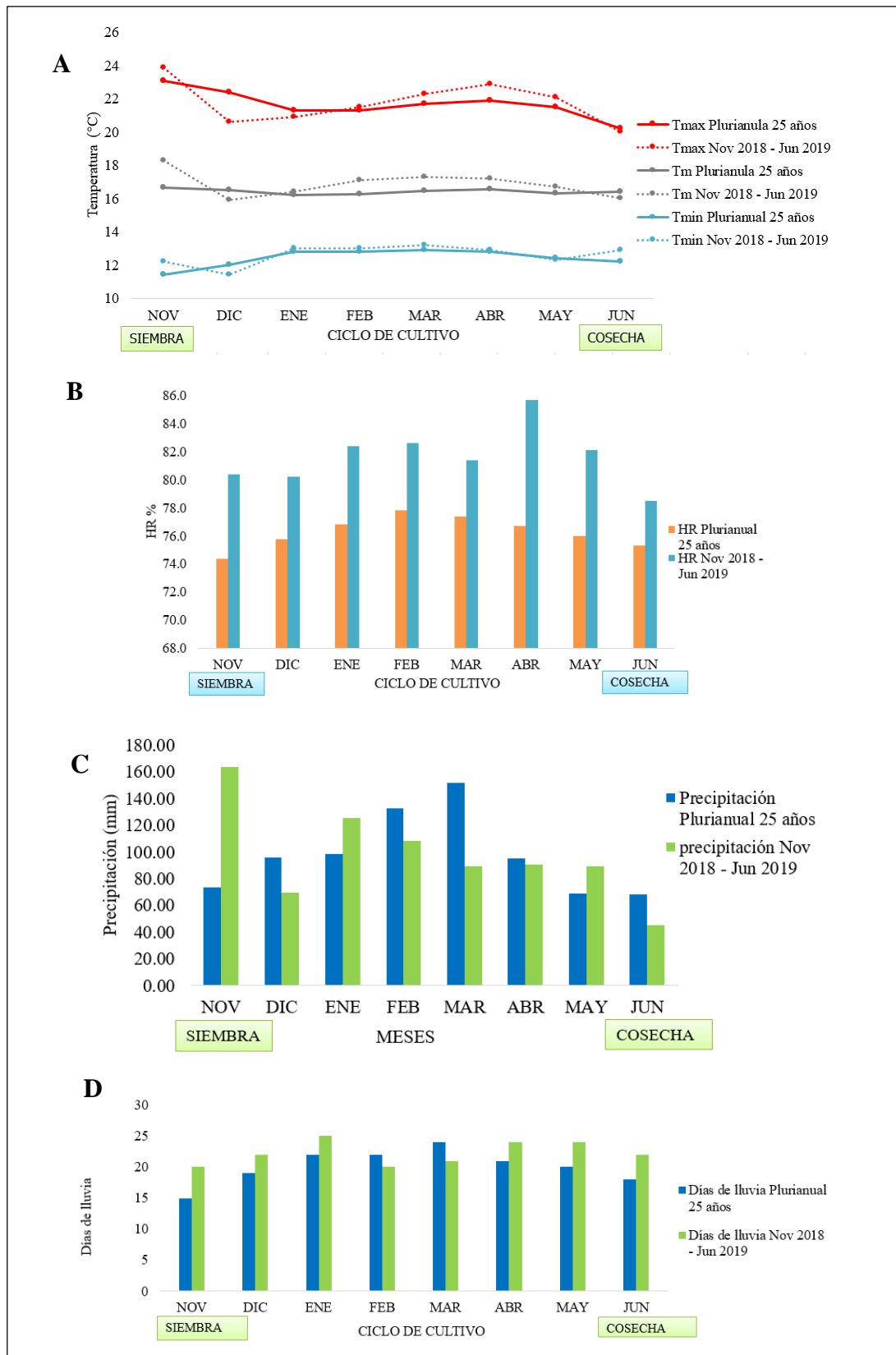
En la Tabla 7, se presentan las constantes hidrofísicas de los diferentes perfiles del suelo, donde puede observarse que son suelos con alto porcentaje de saturación y humedad, con una densidad aparente de 1.6 g/cm<sup>3</sup> en los horizontes superficiales. Mientras que, a los 1.20 cm de profundidad, aumenta a 1.8 g/cm<sup>3</sup>. Cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación afectando las condiciones de retención de humedad.

**Tabla 7.** Constantes hidrofísicas del perfil del suelo en la Quinta experimental La Argelia.

Profundidad	% Saturación	% Humedad a 1/10	% Humedad a 1/3	P.M.P	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
0-22 cm	38.9	36.4	23.6	8.4	1.6
23-48 cm	28.0	25.8	18.4	5.7	1.6
49 -85 cm	32.5	28.0	22.2	6.3	1.4
86-120 cm	23.7	20.7	15.3	3.8	1.8

PMP: Punto de marchitez permanente (% Humedad a 15 atm.).

### 4.3.2. Base de datos de clima



**Figura 14.** Variables climáticas en la estación meteorológica La Argelia: A) Temperatura máxima, media y mínima (Tmax, Tm y Tmin respectivamente); B) Humedad relativa (HR); C) Precipitación y D) Número de días con precipitación. Los valores climatológicos son promedios de 25 años atrás

En la Figura 14A, se observan las diferencias existentes de temperatura media, mínima y máxima entre la climatología (promedio del periodo 1990-2015) y el periodo de cultivo, observándose diferencias estadísticamente no significativas, siendo inferior la temperatura de diciembre de 2018 a la media climatológica mientras que, en el resto de meses, se registran valores superiores. En cuanto a la humedad relativa, se observan diferencias significativas siendo superior la humedad relativa del período 2018-2019 durante el ciclo del cultivo (Figura 14B). En lo que respecta a la precipitación, las primeras etapas del desarrollo del cultivo (noviembre y enero), presentaron lluvias superiores al promedio climatológico (entre 116.6 - 97.1 mm adicionales), reduciéndose la precipitación en la etapa final del cultivo (febrero - junio) (Figura 14C). Además, se observó que el número de días con precipitación durante el ciclo del cultivo fueron superiores al promedio climatológico (Figura 14D).

#### 4.3.3. Base de datos cultivo y calibración

El manejo del cultivo consto de una fertilización y control de plagas y enfermedades para minimizar la limitación por nutrientes y factores bióticos (Tabla 8).

**Tabla 8.** Dosis y cantidad de insumos utilizados en el cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).

Fecha	Labor	Insumo	Dosis/Cantidad
9/11/2018	Fertilización base	Humus	50 gr por planta
9/12/2018	Control de malezas	Herboxone	75 ml por bomba de 20 litros
21/12/2018	Fertilización edáfica	10-30-10	3.3 kg/m <sup>2</sup>
12/02/2019		Urea	3.6 kg/m <sup>2</sup>
		Cloruro de potasio	0.97 kg/m <sup>2</sup>
12/02/2019	Fertilización foliar	Fuerza verde	80 ml por bomba de 20 litros

La calibración se realizó utilizando un conjunto de seis coeficientes genéticos del cultivo de maíz, con los datos obtenidos en campo de los dos tratamientos. En esta

etapa, se tomó en cuenta días a la emergencia, antesis y cosecha, rendimiento, biomasa, % de N en grano e índice de área foliar.

Los valores de coeficientes genéticos del cultivar de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo) que modifican la fenología y el crecimiento de la simulación del modelo CERES-Maize se presentan en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Valores de coeficientes genéticos correspondientes al cultivar de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo) que modifican la fenología y crecimiento del modelo CERES-Maize.

Cultivar	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
INIAP-103	275.0	0.0	935.0	470.0	5.00	63.0

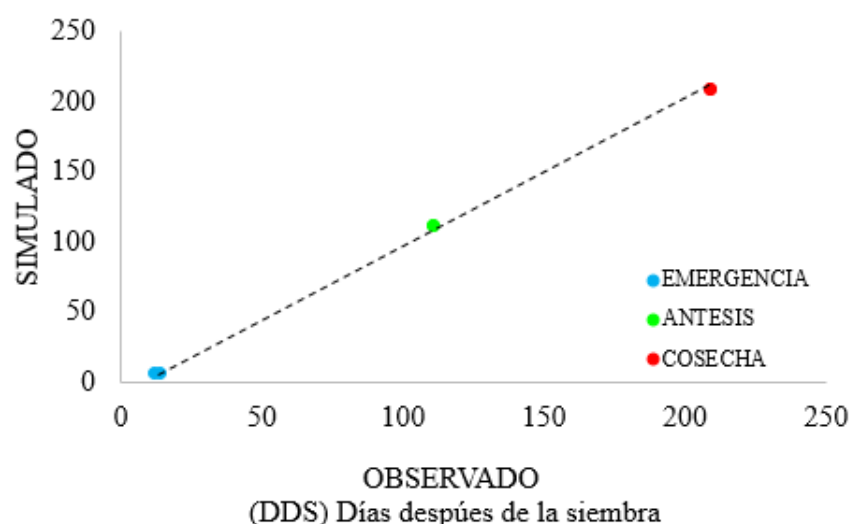
**P1:** unidades térmicas desde emergencia hasta el final de la etapa juvenil; **P2:** unidades térmicas durante la etapa juvenil; **P5:** unidades térmicas durante el llenado de grano; **G2:** Número potencial de granos por mazorca por planta; **G3:** Velocidad de llenado del grano; **PHINT:** unidades térmicas entre la aparición de cada hoja.

Los resultados de la calibración del modelo CERES-Maize indican que el modelo predijo razonablemente bien la antesis y la cosecha (Tabla 10). Sin embargo, en la etapa de emergencia, se observó una diferencia entre observado-simulado de 7 días (46%).

**Tabla 10.** Calibración de la fenología de la variedad de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).

	T1			T2			RMSEP (%)
	Observado	Simulado	Dif*	Observado	Simulado	Dif*	
<b>Emergencia</b>	21/11/18	16/11/18	<b>5</b>	23/11/18	16/11/18	<b>7</b>	46
<b>DDS</b>	(12)	(7)		(14)	(7)		
<b>Antesis</b>	28/02/19	28/02/19	<b>0</b>	28/02/19	28/02/19	<b>0</b>	0
<b>DDS</b>	(111)	(111)		(111)	(111)		
<b>Cosecha</b>	6/06/19	6/06/19	<b>0</b>	6/06/19	6/06/19	<b>0</b>	0
<b>DDS</b>	(209)	(209)		(209)	(209)		

(\*) Diferencia; **DDS:** Días después de la siembra



**Figura 15.** Valores observados y simulados promedio del modelo CERES-Maize de los días después de la siembra a emergencia, antesis y cosecha, correspondientes al cultivar maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo).

Se obtuvo similitud entre los valores observados y simulados por el modelo para los estados vegetativos y reproductivos del cultivar de maíz (Figura 15).

En la Tabla 11 se observa los valores observados y simulados por el modelo CERES-Maize para rendimiento, biomasa, índice de área foliar y nitrógeno. En la calibración se dio mayor relevancia al rendimiento, dando un RMSEP de 4.89% entre los valores observados y simulados. La variable biomasa (peso seco) presentó mayor diferencia entre valores observados y simulados (RMSEP = 22.17%).

**Tabla 11.** Calibración del rendimiento y biomasa de la variedad de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo).

	T1			T2			RMSE P %
	Observado	Simulado	Dif*	Observado	Simulado	Dif*	
<b>Rend</b> (kg)	4876.7	4540	<b>356.7</b>	5269.6	5295	<b>-25.4</b>	4.89
<b>Biomasa</b> (kg)	8999.25	11246	<b>-2246.75</b>	11459.35	13633	<b>-2173.65</b>	22.17
<b>IAF</b> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	1.8	1.6	<b>0.2</b>	2.5	2.1	<b>0.4</b>	13.77
<b>N (%)</b>	1.04	1.21	<b>-0.17</b>	1.07	1.17	<b>-0.1</b>	13.3

(\*) Diferencia; **Rend:** Rendimiento; **IAF:** Índice de área foliar; **N:** Nitrógeno

## 5. DISCUSIÓN

Para la siembra, se utilizó semilla de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo), obtenida del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) Estación Experimental Santa Catalina. La emergencia, tanto para el tratamiento 1 (3 semillas por golpe) y tratamiento 2 (1 semilla por golpe) se presentó a los 12 y 14 DDS, respectivamente, siendo valores similares a los reportados por Estévez, (2017) y Jiménez, (2017) quienes mencionan en sus investigaciones en la misma variedad de maíz (*Mishqui Sara*) que necesito entre 12 y 13 DDS para la emergencia.

En la investigación, se reportó el 50% de la floración masculina (anthesis) 98 DDE en los dos tratamientos y floración femenina (*silking*) se presentó a los 113 y 112 DDE para el tratamiento 1 y tratamiento 2, respectivamente, siendo datos superiores a los reportados por el manual del INIAP (INIAP, 2013) de la Estación Experimental Santa Catalina (72 DDE para floración femenina). No se observó un efecto significativo de la densidad de siembra y espaciamento en la fenología del cultivo. Estos resultados coinciden con los reportados por Andrade (2006) y Romero, *et al.*, (2010) quienes mencionan que la fenología está determinada por la temperatura y el fotoperiodo, mas no por la densidad de siembra.

El efecto de la temperatura en el desarrollo de los cultivos se evalúa con la integral térmica o grados día acumulados ( $^{\circ}\text{C}$  día) durante el desarrollo del cultivo (Díaz *et al.*, 2012). No se encontró una influencia de la densidad de siembra en la integral térmica. En este trabajo, se determinó que para el tratamiento 1 (3 semillas por golpe) se necesitó aproximadamente  $2^{\circ}\text{C}$  día más ( $1869,50^{\circ}\text{C}$  día) para llegar a madurez fisiológica, que el tratamiento 2 (1 semilla por golpe) un total de  $1871,45^{\circ}\text{C}$  día. Sin embargo, estos valores son superiores a los reportados por Estévez, (2017) quien en su investigación en la misma variedad de maíz (*Mishqui Sara*) necesito  $1456,1^{\circ}\text{C}$  y  $1497,9^{\circ}\text{C}$  para llegar a madurez fisiológica. La IT relaciona la temperatura ambiental con las etapas fenológicas del cultivo y permite pronosticar cuándo ocurrirá una etapa fenológica e incluso calcula el rendimiento de un cultivo (Kantolic y Slafer, 2001). Rodríguez *et al.*, (2006) sostiene que las condiciones del ambiente que inciden sobre el cultivo modifican su desarrollo (la fecha de ocurrencia de los estados fenológicos, duración de las etapas, duración del ciclo del cultivo y del rendimiento).



En lo que respecta a la altura y número de hojas, los máximos valores alcanzados se reportan cerca a la floración (105 DDE), con una altura promedio de 132 cm y 128 cm para el tratamiento 2 y 1 respectivamente; y el máximo número de hojas alcanzado fue de 12. Se observó una mayor uniformidad en el crecimiento en el uso de una semilla por golpe (densidad de 62500 plantas/ha), debido a que las plantas tuvieron menos competencia por nutrientes y agua. Estudios realizados por INIAP en diferentes provincias del Ecuador con la variedad *Mishqui Sara* reportan alturas superiores (250 cm) (INIAP, 2013). Además, Guzmán (2017) obtuvo una altura promedio de una altura promedio de 285 cm a los 141 DDS en su investigación realizada usando la variedad de maíz blanco *Tusilla* en el Cantón de Cumandá, provincia de Chimborazo. La altura de la planta determina el grado de desarrollo del área foliar, y en algunos casos, es más importante que la duración del periodo de llenado de grano en la determinación del rendimiento (Toyer y Brown, 1976; Fassio *et al.*, 1998). Izquierdo, (2012) reporta en su investigación que el número total de hojas en la variedad de maíz blanco *Mishka* fue de 11 hojas. El número de hojas en maíz es sensible a cambios en el fotoperiodo o inclusive a la temperatura, pero no se ve alterado por estrés hídrico o de nitrógeno (Arias, 2006).

El IAF representa la cantidad de superficie foliar soportada ( $m^2$ ) por una determinada superficie de terreno ( $m^2$ ) como lo menciona Morales *et al.*, (2006). En esta investigación, el mayor Índice de área foliar (IAF) a *silking*, fue de  $2,5 m^2/m^2$  en el tratamiento 2 (1 semilla por golpe, densidad de 62500 plantas/ha) y  $1,8 m^2/m^2$  en el tratamiento 1 (3 semillas por golpe, densidad 75000 plantas/ha). Romani, (2007), obtuvo un IAF de 4,8 y  $6,5 m^2/m^2$ , en su investigación realizada en Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

En este trabajo se observa que la forma de siembra (3 semillas vs. 1 semilla por golpe) y el espaciamiento influye en el rendimiento del maíz blanco INIAP-103 "*Mishqui Sara*". La siembra tradicional de los agricultores de la región andina (3 semillas por golpe, 75000 plantas/ha) presento un menor rendimiento ( $4876.7 kg ha^{-1}$ ) frente a usar 62500 plantas/ha con 1 semilla por golpe ( $5269.6 kg ha^{-1}$ ). De acuerdo a INIAP (2010) la evaluación del rendimiento ajustado al 13% de humedad en la localidad de Bullcay (2230 m.s.n.m) provincia de Azuay, registró un rendimiento de  $5730 kg ha^{-1}$  en el año

2008 y 6710 kg ha<sup>-1</sup> en el 2009, datos en promedio que se encuentran por encima del rango obtenidos en la actual investigación. Para la mayoría de los cultivos, el rendimiento está positivamente relacionado con la duración del periodo del llenado del grano, los factores genéticos, climáticos y de manejo que permiten una mayor duración y un mantenimiento de la fotosíntesis (Rawson 2001; Soto *et al.*, 2009). Los bajos rendimientos obtenidos en este trabajo se podrían atribuir en parte al manejo (densidad de siembra) y a las condiciones climáticas. Durante el ciclo del cultivo los valores de precipitación fueron superiores a la media climatológica. Los resultados de este trabajo resaltan la importancia del manejo de los cultivos, específicamente de la densidad de siembra y espaciamiento, ya que se puede mejorar la productividad de variedades nativas de maíz blanco adaptado a condiciones andinas.

Los coeficientes obtenidos en la calibración del modelo de simulación de cultivo DSSAT CERES-Maize, para la variedad de maíz INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo) fueron: 275; 0,0; 935, 470, 5 y 63 que corresponden a P1, P2, P5, G2 G3 Y PHINT, respectivamente; los valores de P1 representan las unidades térmicas desde emergencia hasta el final de la etapa juvenil, P2 son las unidades térmicas durante la etapa juvenil, P5 las unidades térmicas durante el llenado de grano, G2 determina el número potencial de granos por mazorca por planta, G3 determina la velocidad de llenado del grano y PHINT son las unidades térmicas entre la aparición de cada hoja. En la presente investigación, al realizar la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize, se pudo observar que las variables que mostraron un mejor ajuste fueron las variables fecha de anthesis, fecha de madurez fisiológica y rendimiento, con diferencias de 0; 0 y 4.89% respectivamente. Hidalgo (2017) menciona que obtuvo valores porcentuales diferentes para floración de -7% a 6% y para madurez fisiológica de 1,2% a 6%. Sin embargo, la calibración del modelo CERES-Maize mostró RMSEP (%) entre 13 y 22% en las variables fecha de emergencia, biomasa, IAF y N, valores que se encuentran dentro de los rangos obtenidos en otras investigaciones (Capa *et al.*, 2014 y 2015) en general, en todas las variables se observó un mejor ajuste usando la siembra de 1 semilla por golpe, esto pudo deberse a la mayor uniformidad de germinación y crecimiento.

La calibración y validación del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize para variedades de maíz blanco andino permitirá predecir épocas de siembra, fecha de floración masculina y femenina y fecha de cosecha, lo cual ayudará a asegurar

la producción, dependiendo del clima, suelo y manejo del cultivo, asegurando los recursos económicos de los agricultores. En base a las predicciones, es posible tomar las medidas necesarias ante los efectos del cambio y variabilidad climática, manteniendo el rendimiento, asegurando así la soberanía alimentaria. Con la utilización del modelo de simulación de cultivos es posible recomendar la variedad y manejo del cultivo a utilizar dependiendo de cada zona, clima y fisiografía.

## 6. CONCLUSIONES

- Se determinó que la variedad de estudio necesitó 1871,45 °C de temperatura acumulados para llegar a la madurez fisiológica. No se observó un efecto significativo de la densidad de siembra y espaciamiento en la fenología del cultivo e integral térmica.
- En relación al crecimiento, se encontraron diferencias significativas entre los dos tratamientos en el desarrollo de la biomasa y materia seca, número de hojas, porcentaje de hoja seca, IAF y altura de las plantas, mostrando mayores valores y uniformidad en el crecimiento con la densidad de siembra de 62500 plantas ha<sup>-1</sup>.
- El rendimiento más alto (5269,6 kg ha<sup>-1</sup>) fue obtenido con una densidad de siembra de 62500 plantas ha<sup>-1</sup> (1 semillas por golpe cada 0.2 m), frente a 4876.7 kg ha<sup>-1</sup> con la densidad de 75000 plantas/ha (3 semillas por golpe cada 0.5m).
- La calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize tuvo un mejor ajuste en las variables de floración, madurez fisiológica y rendimiento, por lo que podría constituirse en un sistema de apoyo a las decisiones de los agricultores.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Realizar investigaciones en diferentes sectores con el fin de obtener confiabilidad en la simulación de rendimientos de maíz blanco andino bajo distintas condiciones de clima, suelo y manejo (fertilización, fechas de siembra, densidades de siembra, etc), y pueda ser aplicado por los agricultores como una alternativa para poder asegurar la productividad y réditos económicos.
- Tomar en cuenta los requerimientos de información que necesita el modelo de cultivo DSSAT en cuanto a información de suelo, clima y manejo del cultivo, que pueden ser obtenidos fácilmente en los sectores agrícolas de nuestra región.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade FH, Vega C, Uhart S, Cirilo A, Cantarero M, Valwntinuz O. (1999). Kernel number determination in maize. *Crop Science*, (39), 453-459.
- Andrade, F. (2006). Influencia de los factores climáticos en las distintas etapas del cultivo de maíz. [ Fecha de consulta: 29 de septiembre de 2019] Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/cultivo-de-maiz-y-el-factor-climatico-t26544.htm>
- Álvarez García, M. (11 de Diciembre de 2013). Modelo de Integral Térmica. Obtenido de: <https://miriego-blog.com/2013/12/11/modelo-de-integral-termica/>. Consultado el: 15 de junio de 2018.
- Arias, L., (2006). Deficiencia de fosforo y potasio en maíz. Efecto sobre el área foliar, crecimiento y absorción de nutrientes. [ Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2019] Disponible en: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7310afb32c62918a032579030053e4a5/\\$FILE/TESIS%20MSc%20LM%20%20Arias%20Usandivaras.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7310afb32c62918a032579030053e4a5/$FILE/TESIS%20MSc%20LM%20%20Arias%20Usandivaras.pdf)
- Basantes Morales, E. R. (Junio de 2015). Manejo de cultivos andinos del Ecuador. 66-80. Obtenido de: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>. Consultado el: 26 de julio de 2018.
- Boada, R., & Espinosa, J. (2016). Factores que limitan el potencial de rendimiento del maíz de polinización abierta en campos de pequeños productores de la Siera de Ecuador. *Siembra* (3), 67-82.

- Castro, I., & Hétier, J.-M. (2015). MODELIZACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN EN AGRONOMÍA. 653-691.
- Capa-Morocho M., Rodríguez-Fonseca B. and Ruiz-Ramos M. 2014. Crop yield as a bioclimatic index of El Niño impact in Europe: crop forecast implications. *Agricultural and Forest Meteorology*. 198-199. 42:52. doi: 10.1016/j.agrformet.2014.07.012
- Capa-Morocho M., Rodríguez-Fonseca B. and Ruiz-Ramos M. 2015. El Niño influence on potential maize yield in Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*. 36 (3). 1313-1330. doi: 10.1002/joc.4426.
- Ciampitti, I., Elmore, R., & Lauer, J. (2016). Crecimiento y Desarrollo del Maíz. *Informe Especial, 48*.
- Consejo Internacional de Cereales. CIC. Obtenido de: <http://www.igc.int/downloads/gmrsummary/gmrsumms.pdf>. Consultado el: 24 de mayo de 2018.
- Díaz, L. E., P. J. M. Campos, R. A. Morales, B. G. Salgado, V. A. Castillo, y G. H. Gil. (2012). Ciencias Agrícolas. Informe, 21(2): 86-96.
- Estévez, A., (2017). Evaluación de la Disponibilidad Energética en el Rendimiento de Maíz (*Zea mays* L.) en el periodo febrero-junio de 2017. (Tesis Pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.
- FAO, 2014. Organización de las Naciones Unidas para Alimentación “FAO”. Anuario estadístico de la FAO: La alimentación y la agricultura en América Latina y el Caribe. ISBN 978-92-5-308149-3. 198 pp.

- Fassio, A.; Carrinquiry, A. I.; Romero, R. (1998). Maíz: Aspectos sobre fenología. Montevideo – Uruguay. Unidad e Información Tecnológica del INIA.
- Fernández, M. E. (2013). Diagnóstico de Modelos Agroclimáticos - Evaluación del Riesgo Agroclimático por Sectores. 8-17.
- Guarín, G (2011). Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño. Maestría tesis, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Gutiérrez, F. (26 de Junio de 2017). *Consumidores Orgánicos*. Obtenido de: <https://consumidoresorganicos.org/2017/06/26/centroamerica-y-el-consumo-del-maiz/>. Consultado el: 29 de agosto de 2018.
- Guzmán, D., (2017). Etapas fenológicas del maíz (*zea mays* l.) var. tusilla bajo las condiciones climáticas del cantón Cumandá, provincia de Chimborazo. Tesis pregrado. Universidad Técnica de Ambato.
- Hidalgo, D., (2017). Evaluación del modelo CERES-Maize para simular el desarrollo y crecimiento del maíz (*Zea mays* l.) variedad ASGROW 7573, bajo diferentes condiciones hídricas. Tesis Postgrado, Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro.
- Hernández, Naivy, Soto, F., Caballero, A. (2009). Modelos de Simulación de Cultivos. Características y usos. Cultivos Tropicales. [ Fecha de consulta: 15 de agosto de 2019] Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000100014](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100014)



- Hoogenboom, G. et al., (2010). The decision support system for Agrotechnology Transfer (DSSAT): past, current and future developments, Program and Summaries, *Biological Systems Simulation Conf.*, 40th, Maricopa, AZ, pp. 13-15.
- Holman, F., (2000). El uso de modelos de simulación como herramienta para la toma de decisiones en la promoción de nuevas alternativas forrajeras, XVI reunión latinoamericana de producción animal (ALPA). Montevideo, Uruguay.
- INIAP. (2013). INIAP-103 "Mishqui Sara". 6. Obtenido de: <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2342/1/FT3.pdf>. Consultado el: 15 de junio de 2018.
- INIAP (2010), Ficha técnica de INIAP-103 "*Mishqui Sara*" variedad de maíz blanco harinoso. Azuay-Ecuador.
- Izquierdo, R., (2012). Evaluación del Cultivo de maíz (*Zea mays*), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento. Cayambe-Ecuador.
- Jiménez, W., (2017). Evaluación de la Disponibilidad Energética en el Rendimiento de Maíz (*Zea mays* L.) en el periodo enero-mayo de 2017. (Tesis Pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador
- Jiménez-Torres, A. y Massa-Sánchez, P. (2015). Producción de café y variables climáticas: El caso de Espíndola, Ecuador. *Economía XL*, 40. pp. 117-137.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., . Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18, 235-265.

- Kantolic, A. G., Slafer, G. A. (2001). Photoperiod sensitivity after flowering and seed number determination in indeterminate soybean cultivars. *Field Crops Res.* 72: 109-118.
- Lora Urdiales, A. (2016). Efecto de las defoliaciones en la producción de maíz de ciclo FAO 400. 1-79.
- Ludeña, C. y Wilk, D (2013). Ecuador: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático: Marco de la preparación de la Estrategia 2012-2017 del BID Ecuador. Disponible online: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6027/Ecuador%20-%20IDB-TN-619.pdf?sequence=1>. Consultado el: 23 de agosto de 2018.
- Morales, R., Escalante, E. y Tijerina, C. (2006). Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra Latinoamericana.* 24: 55-64
- Ovando, G., Sayago, S., Salvagiotti, F., & Bocco, M. (2017). Estimación del rendimiento de soja con datos de radiación solar de CERES. 20. Trabajo presentado en el IX Congreso Argentino de AgroInformática (CAI) – JAIIO 46-CLEI 43. Córdoba, Argentina.
- Paliwal, R. L. (2011). *EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm>. Consultado el: 17 de agosto de 2018.
- Rawson, H. (2001). Trigo regado. Manejo del Cultivo. FAO. 61P

- Rodríguez, E., y Flórez, J. (2006). Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura. *Agronomía Colombiana*. 24(2): 247
- Romani, M., (2007). Efecto de la época de siembra y la densidad poblacional sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento de híbridos de maíz con germoplasma tropical, tropical x templado y templado en el área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero.
- Romero, R., Tonatto, J., Scandaliaris, J., Digonzelli, P., y Leggio, F. (2010). *Efectos de la temperatura en la emergencia y el crecimiento inicial de caña planta y primera soca, variedad TUCCP 77-42*. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*. 87(1): 07-14
- Quiring, S. M., & Legates, D. R. (2008). Application of CERES-Maize for within-season prediction of rainfed corn yields in Delaware, USA. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 964-975.
- Sau, F., López Cedrón, F. X., Confalone, A. E., & Lizaso, J. I. (2010). MODELOS DE SIMULACIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES EN ESPAÑA . *Pastos*, 40 (2), 117-138.
- Sistema de Información Pública Agropecuaria SIPA. Cifras Agroproductivas. Obtenidos de: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>. Consultado el: 23 de julio de 2018.
- Soto, F, Hernández, Naivy, & Plana, R. (2009). Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*) y triticale (X *Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 30(3), 32-36. Recuperado en 30 de octubre de

2019, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000300014&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000300014&lng=es&tlng=es).

Tollenaar M, Dwyer LM, Stewart DW. (1992). Ear and formation in maize hybrids representing three of grain yield improvements in Ontario. *Crop Sci* (32), 432-438.

Totis de Zeljkovich, L. E. (2015). Requerimientos Agroclimáticos del Cultivo de Maíz. *INTA*, 9-22.

Toyer, A. F.; Brown, W. L. (1976). Selection for early flowering in corn: seven late synthetics. *Crop Science* 16(6):767-773.

Verdoodt, A., R. E Van. y L. Ye. (2004). Daily simulation of potencial dry matter production of anual field crops in tropical environments. *Agron. J.* 96:1739-1753.

Yanez, C., Zambrano, J. L., Caicedo, M., & Heredia, J. (2013). Guía de producción de maíz para pequeños agricultores y agricultoras. *Programa de maíz*, 1-28.

Yzarra Tito, W. J., & López Ríos, F. M. (2016). Manual de observaciones fenológicas. 1-99.

## 9. ANEXOS

**Anexo 1** Emergencia del cultivo de maíz (días) *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).

DDS	TRATAMIENTOS	
	DENSIDAD 3	DENSIDAD 1
0	3.0	2.46
1	3.9	3.17
2	5.1	4.08
3	6.6	5.23
4	8.6	6.69
5	11.0	8.51
6	14.1	10.77
7	17.8	13.54
8	22.2	16.88
9	27.4	20.85
10	33.2	25.47
11	39.6	30.71
12	46.4	36.49
13	53.3	42.68
14	60.1	49.10
15	66.5	55.53
16	72.4	61.76
17	77.5	67.61
18	82.0	72.93
19	85.7	77.64
20	88.7	81.70
21	91.2	85.13
22	93.1	87.98
23	94.6	90.30
24	95.8	92.18
25	96.8	93.68
26	97.5	94.87

27	98.0	95.81
28	98.4	96.55
29	98.7	97.12
30	99.0	97.57
31	99.2	97.91
32	99.3	98.18
33	99.4	98.39
34	99.5	98.55
35	99.6	98.68
36	99.6	98.77
37	99.6	98.85
38	99.7	98.91
39	99.7	98.95
40	99.7	98.98
41	99.7	99.01
42	99.7	99.03

**Anexo 2** Altura del cultivo de maíz (cm) *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).

DDE	TRATAMIENTOS		EEM	P. VALOR
	DENSIDAD 3	DENSIDAD 1		
21	4.19	6.78	2.2009	0.24
24	7.41	10.55	2.2009	0.16
27	10.59	13.82	2.2009	0.14
30	13.97	17.46	2.2009	0.12
33	17.62	21.34	2.2009	0.09
36	20.99	25.03	2.2009	0.07
39	24.58	28.94	2.2009	0.05
42	28.41	32.91	2.2009	0.04*
45	32.43	37.18	2.2009	0.03*
48	36.43	41.31	2.2009	0.03*
51	40.74	45.27	2.2009	0.04*
54	45.01	49.43	2.2009	0.05
57	49.18	53.51	2.2009	0.05
60	53.38	57.83	2.2009	0.05
63	57.39	62.34	2.2009	0.03*
66	61.71	66.59	2.2009	0.03*
69	65.83	70.78	2.2009	0.03*
72	69.87	75.67	2.2009	0.01*
75	74.16	79.96	2.2009	0.01*
78	78.81	84.51	2.2009	0.01*

81	83.10	89.08	2.2009	0.01*
84	87.95	94.17	2.2009	0.01*
87	93.16	98.85	2.2009	0.01*
90	98.70	104.07	2.2009	0.02*
93	104.38	109.25	2.2009	0.03*
96	110.38	114.95	2.2009	0.04*
99	116.21	120.50	2.2009	0.05
102	122.21	126.30	2.2009	0.07
105	127.76	131.83	2.2009	0.07

(\*) Presentan diferencias significativas al 0,05, **EEM**: Error estándar medio



**Anexo 3** Número de hojas del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).

<b>TRATAMIENTOS</b>				
<b>DDE</b>	<b>DENSIDAD 3 (T1)</b>	<b>DENSIDAD 1 (T2)</b>	<b>EEM</b>	<b>P. VALOR</b>
21	1.00	1.00	0.2901	1
24	1.00	1.02	0.2901	0.93
27	1.23	1.13	0.2901	0.72
30	1.81	1.54	0.2901	0.35
33	2.10	1.93	0.2901	0.55
36	2.41	2.27	0.2901	0.63
39	2.94	2.67	0.2901	0.35
42	3.25	3.07	0.2901	0.54
45	3.63	3.48	0.2901	0.62
48	4.16	3.94	0.2901	0.44
51	4.46	4.33	0.2901	0.67
54	5.01	4.79	0.2901	0.45
57	5.42	5.18	0.2901	0.42
60	5.91	5.68	0.2901	0.43
63	6.32	6.06	0.2901	0.37
66	6.89	6.61	0.2901	0.34
69	7.21	6.92	0.2901	0.32
72	7.84	7.45	0.2901	0.19
75	8.15	7.88	0.2901	0.35
78	8.77	8.38	0.2901	0.19

81	9.08	8.71	0.2901	0.21
84	9.73	9.31	0.2901	0.16
87	10.05	9.67	0.2901	0.19
90	10.71	10.26	0.2901	0.12
93	11.03	10.57	0.2901	0.11
96	11.62	11.21	0.2901	0.16
99	11.92	11.52	0.2901	0.17
102	12.46	12.18	0.2901	0.34
105	13.22	12.44	0.2901	0.01*

(\*) Presentan diferencias significativas al 0.05, **EEM**: Error estándar medio

**Anexo 4** Porcentaje de hoja seca del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo).

<b>TRATAMIENTOS</b>				
<b>DDE</b>	<b>DENSIDAD 3</b>	<b>DENSIDAD 1</b>	<b>EEM</b>	<b>P. VALOR</b>
	<b>(T1)</b>	<b>(T2)</b>		
133	4.01	3.57	0.7807	0.57
140	20.37	10.72	0.7807	0.41
148	24.90	24.82	0.7807	0.92
155	34.39	34.47	0.7807	0.91
162	45.36	45.61	0.7807	0.75
169	50.55	51.63	0.7807	0.17
176	58.65	61.14	0.7807	0.003*
183	73.33	74.23	0.7807	0.25
190	83.53	83.80	0.7807	0.74
197	90.94	91.02	0.7807	0.92
204	98.02	98.02	0.7807	1.00
211	100	100	0.7807	1.00

(\*) Presentan diferencias significativas al 0.05, **EEM:** Error estándar medio

**Anexo 5** Biomasa y peso seco a *silking* del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).

VARIABLE	TRATAMIENTOS		EEM	P. VALOR
	DENSIDAD 3 (T1)	DENSIDAD 1 (T2)		
<b>BIOMASA</b>				
FLOR	251.25	515.97	69.52	0.0132*
HOJAS	2417.91	3721.52	477.28	0.0580
TALLO+VAINA	7924.58	14225.69	2208.07	0.0492*
FRUTO	8405.41	15867.36	2011.47	0.0151*
<b>TOTAL</b>	<b>18999.16</b>	<b>34330.55</b>	<b>4634.56</b>	<b>0.0264*</b>
<b>PESO SECO</b>				
FLOR	222.08	356.94	62.6091	0.1234
HOJAS	897.50	1161.11	183.8092	0.2903
TALLO+VAINA	5072.50	7023.61	1908.25	0.4451
FRUTO	5744.16	10167.69	1857.56	0.0920
<b>TOTAL</b>	<b>11936.25</b>	<b>18709.02</b>	<b>3474.10</b>	<b>0.1592</b>

(\*) Presenta diferencias significativas al 0.05, **EEM**: Error estándar medio

**Anexo 6** Biomasa y peso seco a madurez fisiológica del cultivo de maíz *Zea mays* variedad INIAP 103 “Mishqui Sara” (Maíz nutritivo).

VARIABLE	TRATAMIENTOS		EEM	P. VALOR
	DENSIDAD 3 (T1)	DENSIDAD 1 (T2)		
<b>BIOMASA</b>				
HOJA	2835.01	3844.79	207.03	0.0006*
TALLO+VAINA	8492.08	11065.27	888.56	0.0263*
MAZORCA SIN GRANO	1936.92	3001.04	266.16	0.0033*
GRANO	8488.26	10267.70	649.90	0.0347*
<b>TOTAL</b>	<b>21752.28</b>	<b>28178.81</b>	<b>1352.08</b>	<b>0.0007*</b>
<b>PESO SECO</b>				
HOJA	1698.15	2222.56	190.88	0.0341*
TALLO+VAINA	6132.00	7542.70	514.28	0.0344*
MAZORCA SIN GRANO	1169.10	1694.09	197.21	0.0395*
GRANO	5854.46	6993.40	492.57	0.0706
<b>TOTAL</b>	<b>14824.66</b>	<b>18452.77</b>	<b>913.21</b>	<b>0.0037*</b>

(\*) Presenta diferencias significativas al 0.05; **EEM**: Error estándar medio

**Anexo 7** Promedios plurianuales de: A) Temperatura máxima, media y mínima (Tmax, Tm y Tmin respectivamente); B) Humedad relativa (HR); C) Precipitación y D) Número de días con precipitación de la estación meteorológica La Argelia.

A) Temperatura máxima, media y mínima (Tmax, Tm y Tmin respectivamente)

	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
<b>Tmax Plurianual 25 años</b>	23.1	22.4	21.3	21.3	21.7	21.9	21.5	20.2
<b>Tmax</b>	23.90	20.60	20.90	21.50	22.30	22.90	22.10	20.00
<b>Tm Plurianual 25 años</b>	16.66	16.53	16.21	16.27	16.44	16.56	16.30	16.42
<b>Tm</b>	23.1	15.9	16.4	17.1	17.3	17.2	16.7	16
<b>Tmin Plurianual 25 años</b>	11.4	12	12.8	12.8	12.9	12.8	12.4	12.2
<b>Tmin</b>	12.2	11.4	13	13	13.2	12.9	12.3	12.9

B) Humedad relativa (HR)

	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
<b>HR Plurianual 25 años</b>	74.4	75.8	76.8	77.8	77.4	76.7	76.00	75.30
<b>HR Nov 2018 – Jun 2019</b>	80.4	80.2	82.4	82.6	81.4	85.7	82.1	78.5

C) Precipitación

	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
<b>Precipitación Plurianual 25 años</b>	73.73	96.09	98.51	132.62	151.64	95.42	68.80	68.30
<b>precipitación Nov 2018 - Jun 2019</b>	163.8	69.3	125.4	108.4	89.2	90.8	89	45

D) Número de días con precipitación

	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
<b>Días de lluvia Plurianual 25 años</b>	15	19	22	22	24	21	20	18
<b>Días de lluvia Nov 2018 - Jun 2019</b>	20	22	25	20	21	24	24	22

## Anexo 8 Promedios anuales de temperatura máxima, mínima y media, precipitación y humedad relativa.

NOMBRE: LA ARGELIA-LOJA		CODIGO: M0033												
PERIODO: 1990 - 2015		LATITUD: 4G 2' 11" S		LONGITUD: 79G 12' 4" W				ELEVACION: 2160.00						
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1990	20.8	22.5	20.7	21.7	20.5	19.2	19.3	19.8	21.2	23.6	22.3	22.0	253.6	21.1
1991	21.6	21.6	22.6	21.8	21.4	21.7	19.3	18.2	22.0	21.4	23.9	24.4	259.9	21.6
1992	21.8	22.1	21.5	22.0	22.4	19.8	18.5	20.7	21.9	22.9	23.8	22.7	268.1	21.6
1993	21.5	21.5	21.7	22.2	22.3	19.4	19.5	19.8	21.0	21.2	23.2	22.3	255.6	21.3
1994	21.0	20.3	21.1	21.4	21.7	19.7	18.8	18.5	20.3	23.0	22.6	22.2	250.6	20.8
1995	20.8	22.8	22.0	21.9	21.3	21.6	21.0	21.8	21.1	23.2	23.1	22.4	263.0	21.9
1996	21.2	20.5	21.9	21.9	21.7	20.5	19.6	19.3	20.6	23.0	23.7	21.9	255.8	21.3
1997	22.3	19.9	21.4	21.6	20.2	22.6	18.6	18.9	22.4	23.3	22.2			
1998	20.9	22.6	22.1	22.8	21.8	19.7	19.4	21.1	23.1	22.5	22.7	23.4	262.1	21.8
1999	21.7	20.6	21.3	20.1	20.7	20.6	18.6	19.5	21.2	21.9	23.7	20.7	250.6	20.8
2000	21.5	21.2	21.4	21.0	21.5	20.6	19.7	18.6	21.2	22.1	23.6	21.8	254.2	21.1
2001	21.4	19.8	22.0	21.5	21.7	20.0	19.9	18.5	21.4	23.8	23.4	23.3	256.7	21.3
2002	21.7	20.8	22.0	21.5	21.2	19.8	19.8	19.2	22.1	22.3	21.4	22.1	253.9	21.1
2003	20.2	20.6	20.9	21.6	20.3	20.9	19.2	20.9	23.0	23.9	24.3	21.9	257.7	21.4
2004	23.7	22.5	20.4	22.5	22.2	18.5	20.1	20.2	21.6	22.9	23.8	23.5	261.9	21.8
2005	22.8	22.1	22.6	22.6	22.4	20.8	20.7	21.2	22.6	23.6	23.4	22.9	267.7	22.3
2006	21.8	22.0	22.0	22.4	21.7	20.9	20.4	21.2	22.4	24.2	24.2	23.4	266.6	22.2
2007	22.0	22.1	22.0	23.2	22.1	19.1	21.7	20.5	20.4	22.9	21.4	22.0	259.4	21.6
2008	20.4	20.0	21.8	21.7	20.0	20.9	19.4	20.7	20.8	22.6	23.1	23.0	255.3	21.2
2009	21.0	20.9	22.1	21.6	21.9	20.7	19.8	20.3	20.6	22.9	23.2	23.6	258.6	21.5
2010	20.7	21.7	22.4	23.4	22.7	20.6	22.6	21.5	22.4	23.3	22.8	22.3	266.4	22.2
2011	21.8	22.0	22.5	22.4	21.1	21.5	19.2	20.6	20.5	22.9	23.1	21.6	259.2	21.6
2012	21.9	21.3	21.5	22.6	20.7	20.1	19.4	20.4	20.5	22.5	23.2	22.3	256.4	21.3
2013	20.5	21.3	21.9	21.9	22.5	19.9	18.4	19.5	21.5	22.1	23.8	22.5	255.4	21.2
2014	21.3	20.9	21.0	20.9	22.0	19.4	19.3	19.2	21.5	22.1	23.0	22.3	259.9	21.0
2015	19.8	21.2	21.4	21.5	21.0	18.7	19.5	19.9	21.5	22.3	23.5	20.4	250.7	20.8
media	21.3	21.3	21.7	21.9	21.5	20.2	19.6	20.0	21.4	22.7	23.1	22.4	257.6	21.4
minima	19.8	19.8	20.4	20.1	20.2	18.5	18.4	18.2	20.3	21.2	21.4	20.4		18.2
maxima	23.7	22.8	22.6	23.4	22.7	22.6	22.6	21.8	23.1	24.2	24.3	24.4		24.4

Figura 1. Tabla de datos mensuales de la temperatura máxima.

NOMBRE: LA ARGELIA-LOJA		CODIGO: M0033												
PERIODO: 1990 - 2015		LATITUD: 4G 2' 11" S		LONGITUD: 79G 12' 4" W				ELEVACION: 2160.00						
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1990	12.9	11.9	12.3	12.8	12.5	13.2	11.2	11.8	11.2	11.3	12.3	11.5	144.9	12.0
1991	12.1	11.9	12.9	11.7	12.8	11.9	11.5	11.7	12.1	11.9	11.4	11.5	143.4	11.9
1992	11.9	11.9	12.5	11.7	12.0	12.3	10.9	10.4	11.9	11.5	12.3	10.9	141.5	11.7
1993	11.4	12.0	12.5	12.5	11.3	12.3	12.4	11.4	11.9	12.0	10.5	12.6	142.8	11.9
1994	12.1	12.3	12.4	12.2	12.1	11.8	12.0	11.9	12.7	10.2	11.8	12.7	144.2	12.0
1995	11.8	11.9	12.3	12.8	12.6	12.3	11.3	10.8	12.2	11.5	12.7	11.6	143.8	11.9
1996	11.9	12.0	12.6	12.6	12.0	12.0	10.6	12.1	12.4	10.8	9.9	12.0	146.9	11.7
1997	11.4	12.2	12.1	12.0	12.5	11.0	12.2	12.5	11.4	12.9	11.8	12.0	143.8	11.8
1998	12.6	13.4	13.4	13.1	13.5	12.2	12.4	11.5	10.8	11.9	11.6	9.4	145.8	12.1
1999	12.1	12.3	11.9	12.1	11.8	11.5	12.3	10.4	11.1	11.4	11.8	12.4	141.1	11.7
2000	11.8	11.9	12.1	12.7	12.2	12.3	11.9	11.9	11.2	11.6	8.9	12.1	140.6	11.7
2001	12.3	12.8	12.2	12.5	12.8	12.8	12.6	12.7	11.5	13.2	11.8	12.4	149.6	12.4
2002	12.1	12.3	12.0	12.3	13.0	12.4	12.7	12.5	12.1	12.2	12.2	12.6	148.4	12.3
2003	11.7	12.7	12.1	12.2	12.5	11.9	12.3	12.7	12.0	12.3	10.6	12.5	145.5	12.1
2004	11.1	11.9	13.1	12.5	12.7	12.2	11.5	12.2	11.8	11.7	11.9	11.5	144.1	12.0
2005	11.2	13.1	12.9	13.0	11.8	12.5	11.9	12.1	12.7	11.7	9.5	11.6	144.0	12.0
2006	12.8	12.8	12.7	12.3	12.4	13.0	13.5	13.4	13.2	11.8	12.2	12.9	155.0	12.7
2007	13.9	12.7	12.9	13.2	12.4	11.8	11.7	11.8	12.9	11.0	12.7	11.8	140.8	12.4
2008	12.5	12.2	11.7	11.9	12.0	11.3	10.9	10.2	11.8	11.7	11.4	11.8	139.4	11.6
2009	12.5	12.6	12.3	12.8	11.9	12.3	12.3	12.0	12.7	12.2	11.1	12.3	147.2	12.0
2010	12.7	13.3	13.5	13.3	13.1	12.8	11.0	10.7	11.4	11.5	10.2	11.6	145.1	12.0
2011	11.8	12.3	11.8	12.3	11.8	12.2	12.1	12.6	12.7	10.7	11.2	12.0	144.3	12.0
2012	12.7	12.3	13.1	11.5	12.9	12.2	12.8	12.9	12.9	12.6	12.8	11.9	150.6	12.5
2013	13.6	13.2	13.5	11.8	12.5	13.2	12.0	11.7	11.9	12.1	10.8	12.7	149.0	12.4
2014	12.2	12.8	12.8	13.2	12.6	12.5	13.0	12.6	12.2	12.3	12.2	12.6	151.0	12.5
2015	12.8	12.8	12.9	12.8	12.8	12.8	12.8	13.4	13.9	13.2	12.9	13.2	156.3	13.0
media	12.2	12.4	12.5	12.4	12.4	12.2	11.9	11.9	12.0	11.8	11.4	12.0	145.7	12.1
minima	11.1	11.9	11.7	11.5	11.3	11.0	10.6	10.2	10.8	10.2	8.9	9.4		8.9
maxima	13.9	13.4	13.5	13.3	13.5	13.2	13.5	13.4	13.9	13.2	12.9	13.2		13.9

Figura 2. Tabla de datos mensuales de la temperatura mínima.

NOMBRE: LA ARGELIA-LOJA		CODIGO: M0033												
PERIODO: 1990 - 2015		LATITUD: 4G 2' 11" S		LONGITUD: 79G 12' 4" W				ELEVACION: 2160.00						
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1990	16.0	16.4	15.9	16.5	16.3	15.4	15.4	15.6	16.1	16.7	16.7	16.2	193.9	16.1
1991	16.3	16.2	16.5	16.2	16.2	16.1	15.0	14.5	16.5	16.1	17.0	17.3	193.2	16.1
1992	16.3	16.6	16.6	16.5	16.5	15.5	14.2	15.8	15.9	16.5	16.5	16.3	191.0	15.9
1993	16.1	16.2	16.0	16.7	16.3	15.4	15.1	14.9	15.3	16.1	16.3	16.6	191.0	15.9
1994	15.8	15.8	16.3	16.1	16.2	15.3	14.9	14.9	16.1	16.1	16.4	16.8	190.7	15.8
1995	15.8	16.7	16.3	16.7	16.2	16.3	15.5	16.3	16.2	16.7	16.8	16.2	195.7	16.3
1996	15.8	15.7	16.4	16.4	16.1	15.6	14.5	15.0	16.1	16.3	16.5	16.4	196.8	15.9
1997	15.9	15.6	16.3	16.1	15.9	16.2	15.0	15.5	16.7	17.2	16.7			
1998	16.8	17.6	17.3	17.6	17.1	15.7	15.4	16.2	16.8	16.6	16.5	15.9	199.5	16.6
1999	16.1	15.6	16.0	15.8	15.7	15.6	14.9	14.8	15.8	16.0	17.0	15.7	189.0	15.7
2000	15.9	15.8	16.0	16.2	16.1	15.6	15.2	14.9	15.6	16.6	15.8	16.3	190.0	15.8
2001	16.3	15.8	16.5	16.5	16.7	15.5	15.3	15.1	15.8	17.6	16.8	17.2	195.1	16.2
2002	16.0	15.9	16.4	16.0	16.4	15.6	15.5	15.1	16.3	16.2	15.8	16.4	191.6	15.9
2003	15.4	15.8	15.8	16.0	15.7	15.8	15.0	16.1	16.7	17.2	16.9	16.3	192.7	16.0
2004	16.8	16.5	16.1	16.6	16.5	14.6	14.8	15.6	16.1	16.5	16.9	16.7	193.7	16.1
2005	16.7	16.8	16.9	16.8	16.6	16.0	15.7	16.1	16.8	16.9	16.1	16.4	197.8	16.4
2006	16.5	16.6	16.6	16.8	16.3	16.1	16.1	16.5	17.1	17.1	17.3	17.3	200.3	16.6
2007	17.2	16.7	16.6	17.4	16.4	14.7	15.8	15.5	16.0	16.3	16.3	16.2	195.1	16.2
2008	15.9	15.5	16.0	16.1	15.9	15.5	14.8	15.2	15.9	16.4	16.7	16.6	190.5	15.8
2009	16.1	16.1	16.1	16.1	16.4	16.4	15.9	15.8	16.3	16.8	17.2	16.2	196.2	16.3
2010	16.3	17.1	17.5	17.7	17.2	16.0	16.3	15.7	16.4	17.0	16.0	16.0	199.2	16.6
2011	16.1	16.3	16.4	16.6	15.9	16.1	15.2	16.2	16.1	16.4	16.5	16.4	194.2	16.1
2012	16.4	16.1	16.4	16.7	16.2									

NOMBRE: LA ARGELIA-LOJA		CODIGO: M0033													
PERIODO: 1990 - 2015		LATITUD: 4G 2' 11" S				LONGITUD: 79G 12' 4" W				ELEVACION: 2160.00					
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA	
1990	131.7	161.3	142.8	131.1	77.1	83.0	43.8	33.2	27.1	85.4	107.8	115.0	1139.3	94.9	
1991	113.1	153.5	197.0	59.6	70.1	64.0	39.2	61.9	30.9	61.0	22.6	66.5	939.4	78.2	
1992	83.5	125.3	94.1	97.0	57.6	47.7	50.4	15.7	39.4	47.1	103.6	64.5	825.9	68.8	
1993	85.4	105.4	317.2	93.4	23.4	50.3	62.7	29.2	45.6	91.5	48.0	198.1	1150.2	95.8	
1994	213.8	77.6	285.5	123.1	54.1	53.8	81.5	69.3	37.0	29.6	42.8	104.6	1172.7	97.7	
1995	59.8	88.0	93.4	52.8	64.7	10.1	33.6	19.9	22.3	36.8	129.0	121.3	731.7	60.9	
1996	98.3	126.9	153.2	97.8	30.7	46.5	38.6	34.4	37.1	57.9	13.0	27.0	761.4	63.4	
1997	68.1	109.2	101.2	69.9	46.2	20.7	50.2	35.2	42.0	59.9	73.6	123.9	800.1	66.6	
1998	40.4	101.9	136.2	88.5	51.2	75.2	49.5	35.7	31.4	116.7	85.8	39.2	851.7	70.9	
1999	124.3	299.1	132.2	83.7	120.2	58.9	59.8	50.2	81.7	27.8	48.1	116.7	1202.7	100.2	
2000	152.1	178.5	192.1	105.0	81.8	86.8	37.1	50.3	67.7	31.6	25.4	57.6	1066.0	88.8	
2001	82.8	116.6	68.3	69.8	63.7	86.9	81.2	52.1	42.0	33.5	128.0	98.3	923.2	76.9	
2002	102.0	99.2	53.5	126.7	68.2	39.2	62.8	5.9	18.2	67.7	71.4	70.6	785.4	65.4	
2003	80.3	113.3	188.0	68.8	92.4	53.9	34.1	6.9	25.0	73.3	56.5	106.8	899.3	74.9	
2004	48.1	119.0	177.6	198.7	46.5	85.4	47.5	12.1	25.2	125.8	95.3	96.3	1077.5	89.7	
2005	46.4	134.5	173.6	157.6	33.0	79.0	15.3	13.4	18.1	86.2	62.5	98.3	917.9	76.4	
2006	138.1	88.8	188.3	82.7	33.6	78.5	33.7	13.2	22.5	37.2	93.1	90.6	900.3	75.0	
2007	50.1	66.3	93.5	99.1	80.7	120.0	11.3	152.4	55.0	55.7	153.3	77.6	1015.0	84.5	
2008	62.3	251.0	237.9	137.8	74.6	51.3	89.5	89.7	20.6	136.4	102.9	126.3	1380.3	115.0	
2009	133.0	90.2	134.4	93.1	43.3	29.8	55.7	61.9	55.6	69.7	26.0	118.4	911.1	75.9	
2010	59.4	109.6	46.3	75.8	70.7	77.5	31.1	46.2	60.6	34.4	60.0	81.1	752.7	62.7	
2011	58.2	205.3	131.4	154.5	87.1	56.1	101.0	54.7	89.8	80.9	155.9	163.7	1338.6	111.5	
2012	147.0	201.6	60.5	97.8	82.1	82.2	16.6	32.0	32.8	116.4	110.1	117.3	1096.4	91.3	
2013	141.7	169.7	48.8	18.9	137.0	60.2	93.5	36.3	27.0	334.0	20.0	761.0	1848.1	154.0	
2014	1735.0	83.8	218.2	28.4	115.5	137.2	44.0	62.2	20.0	145.5	51.1	72.2	2713.1	226.0	
2015	142.8	72.5	277.5	69.3	85.4	141.8	94.2	30.3	46.3	82.1	31.1	50.4	1123.7	93.6	
suma	4197.7	3448.1	3942.7	2480.9	1790.9	1776.0	1357.9	1104.3	1020.9	2124.1	1916.9	3163.3	28323.7	2360.3	
media	161.4	132.6	151.6	95.4	68.8	68.3	52.2	42.4	39.2	81.6	73.7	121.6	1089.3	90.7	
minima	40.4	66.3	46.3	18.9	23.4	10.1	11.3	5.9	18.1	27.8	13.0	27.0		5.9	

Figura 4. Tabla de datos mensuales de la precipitación.

NOMBRE: LA ARGELIA-LOJA		CODIGO: M0033													
PERIODO: 1990 - 2015		LATITUD: 4G 2' 11" S				LONGITUD: 79G 12' 4" W				ELEVACION: 2160.00					
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA	
1990	77	78	79	80	74	78	71	74	76	76	76	76	882	73	
1991	76	77	78	76	77	73	70	69	68	70	72	71	877	73	
1992	74	75	75	76	77	76	73	67	74	71	74	76	888	74	
1993	75	76	78	76	74	73	73	70	73	74	73	76	891	74	
1994	78	77	76	75	76	76	74	72	74	72	77	77	904	75	
1995	78	75	77	78	77	73	73	67	69	73	79	77	896	74	
1996	78	79	79	76	75	74	72	74	71	73	70	74	895	74	
1997	77	78	75	76	74	71	71	71	71	70	74	74			
1998	76	74	76	77	73	72	73	70	69	75	76	71	882	73	
1999	77	80	76	76	76	77	73	70	75	72	73	81	906	75	
2000	78	79	78	78	78	78	74	72	75	71	69	74	904	75	
2001	74	79	75	76	75	75	77	72	73	71	75	74	896	74	
2002	79	79	75	78	75	73	77	69	69	73	76	74	897	74	
2003	77	79	79	77	78	77	73	69	70	72	73	77	901	75	
2004	73	74	79	76	76	77	76	69	71	74	75	75	895	74	
2005	73	77	77	76	73	75	67	67	67	72	69	76	869	72	
2006	75	76	76	74	72	71	69	67	69	70	74	74	867	72	
2007	74	75	76	75	78	81	73	75	74	74	77	74	906	75	
2008	77	79	76	77	75	71	75	72	71	73	74	74	894	74	
2009	76	76	74	74	72	72	75	75	75	74	74	75	892	74	
2010	78	78	76	77	78	78	74	69	71	72	76	78	905	75	
2011	77	80	78	79	76	77	77	69	74	73	76	79	915	76	
2012	79	80	79	78	77	76	73	66	67	75	76	77	903	75	
2013	80	83	80	77	80	78	77	78	74	78	74	77	936	78	
2014	81	81	84	77	82	80	74	74	72	74	76	79	934	77	
2015	81	79	81	79	79	77	77	72	72	77	76	78	928	77	
media	76	77	77	76	76	75	73	70	71	73	74	75	899	74	
minima	73	74	74	74	72	71	67	66	67	70	69	71		66	
maxima	81	83	84	80	82	81	77	78	75	78	79	81		84	

Figura 5. Tabla de datos mensuales de la humedad relativa.



**Anexo 9** Base de datos de suelo en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize.

```

*ARGELIA002 INIAP SIC 120 ECUADOR LOJA2
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY
ARGELIA ECUADOR -4.0 -79.2 Franco
@ SCOM SALB SLU1 SLDR SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE
BN .13 6 .25 73 1 .9 IB00 IB00 IB00
@ SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI SLCF SLNI SLHW SLHB SCEC SADC
22 AP .082 .135 .204 1 .43 1.59 .74 24.56 23.69 51.75 -99 5.5 -99 -99 -99
48 AA .114 .238 .377 .5 .68 1.57 .63 21.98 52.65 25.37 -99 -99 -99 -99 -99
85 B .058 .147 .297 .3 1.32 1.38 .28 12.0 49.64 38.36 -99 -99 -99 -99 -99
120 B .134 .186 .225 .1 .12 1.78 .39 41.0 14.62 44.38 -99 -99 -99 -99 -99

```

**Anexo 10** Base de datos del clima utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize.

```

*WEATHER DATA : ARGE002
@ INSI LAT LONG ELEV TAV AMP REFHT WNDHT
ARGE -79.20 -4.04 2160 17.4 16.0 -99.0 -99.0
@DATE SRAD TMAX TMIN RAIN WIND RHUM
18274 16.0 25.5 12.1 0.3 172.8 79
18275 21.5 24.5 12.1 0.0 172.8 75
18276 20.6 24.6 12.1 4.3 345.6 77
18277 15.8 23.2 11.7 0.9 172.8 84
18278 21.7 24.2 12.9 0.0 691.2 79
18279 16.9 22.4 14.2 0.0 345.6 76
18280 20.2 25.2 14.2 3.4 518.4 78
18281 12.4 22.7 12.8 0.3 172.8 82
18282 12.3 22.8 11.2 12.9 172.8 81
18283 14.8 22.8 10.8 0.0 259.2 71
18284 27.3 24.9 8.2 0.0 172.8 65
18285 16.6 25.0 7.2 0.0 345.6 65
18286 19.0 24.7 6.2 0.4 345.6 67
18287 19.2 24.8 11.3 0.5 691.2 75
18288 11.8 22.2 13.8 0.4 345.6 76
18289 18.4 25.2 12.7 0.0 172.8 72
18290 19.8 24.7 11.9 0.5 172.8 72
18291 21.5 26.5 12.3 4.7 345.6 87
18292 21.0 26.8 9.4 0.3 259.2 71
18293 10.3 22.2 12.4 0.1 172.8 84
18294 14.7 24.1 10.5 0.0 172.8 75
18295 26.6 25.4 10.6 0.0 345.6 73
18296 28.3 26.1 7.2 0.0 345.6 73
18297 26.4 26.1 9.2 0.0 345.6 69
18298 19.7 26.8 8.3 0.0 432.0 75
18299 21.7 26.5 9.2 3.6 259.2 75
18300 9.4 26.2 9.4 0.1 345.6 81
18301 12.9 21.4 13.9 0.5 172.8 75

```

## Anexo 11 Base de datos del cultivo de maíz utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT CERES-Maize.

```

ARGE1801.MZX.WTH x
*EXP.DETAILS: ARGE1801MZ 2018 ARG EXPERIMENT, LOJA, ECUADOR

*GENERAL
@PEOPLE
Jhuliana Calva
@ADDRESS
Loja, Ecuador
@SITE
Argelia
@ PAREA PRNO PLEN PLDR PLSP PLAY HAREA HRNO HLEN HARM.....
-99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99
@NOTES
Ensayo de maíz INIAP-103 nov 2018 - jun 2019
Diferentes densidades de siembra.

*TREATMENTS -----FACTOR LEVELS-----
@N R O C TNAME..... CU FL SA IC MP MI MF MR MC MT ME MH SM
1 0 0 0 III - Densidad 3semillas 1 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1
2 0 0 0 iii - Densidad 1semilla 1 1 0 0 2 0 1 0 0 0 0 0 1

*CULTIVARS
@C CR INGENO CNAME
1 MZ IN0103 Mishqui sara

*FIELDS
@L ID FIELD WSTA.... FLSA FLOB FLDT FLDD FLDS FLST SLTX SLDP ID_SOIL FLNAME
1 ARGE0001 LOJA 0 0 DR000 0 0 00000 -99 120 ARGELIA002 -99
@L .....XCRD .....YCRD .....ELEV .....AREA .SLEN .FLWR .SLAS FLHST FHDUR
1 0 0 0 0 0 0 0 -99 -99

*INITIAL CONDITIONS
@C PCR ICDAT ICRT ICND ICRN ICRE ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIIP ICRID ICNAME
1 MZ 1 100 0 1 1 -99 0 0 0 100 15 -99
@C ICBL SH20 SNH4 SNO3
1 22 .203 .2 2.1
1 48 .282 .2 1.1
1 85 .223 .2 .9
1 120 .236 .2 1

*PLANTING DETAILS
@P PDATE EDATE PPOP PPOE PLME PLDS PLRS PLRD PLDP PLWT PAGE PENV PLPH SPRL FLNAME
1 18313 18337 7.5 7.5 S R 0.8 90 3 -99 -99 -99 -99 0 -99
2 18313 18344 6.3 6.3 S R 0.8 90 3 -99 -99 -99 -99 0 -99

*IRRIGATION AND WATER MANAGEMENT
@I EFIR IDEP ITHR IEPT IOFF IAME IAMT IRNAME
1 1 30 50 100 GS000 IRO01 10 -99
@I IDATE IROP IRVAL
1 95165 IRO01 79
1 95177 IRO01 65
1 95188 IRO01 61
1 95199 IRO01 60
1 95209 IRO01 65
1 95221 IRO01 65
1 95234 IRO01 60
1 95248 IRO01 57
1 95262 IRO01 56

*FERTILIZERS (INORGANIC)
@F FDATE FMCD FACD FDEP FAMN FAMP FAMK FAMC FAMO FOCD FERNAME
1 18352 FE005 AP007 5 51 0 0 0 0 -99 -99
1 18352 FE016 AP007 5 0 0 12 0 9 -99 -99
1 18352 FE006 AP007 5 8 25 0 0 9 -99 -99
1 19043 FE005 AP007 5 51 0 0 0 0 -99 -99
1 19043 FE016 AP007 5 0 0 12 0 9 -99 -99
1 19043 FE006 AP007 5 8 25 0 0 9 -99 -99

*SIMULATION CONTROLS
@N GENERAL NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME..... SMODEL
1 GE 1 1 S 18313 2150 ARGELIA, ECUADOR, 2018, 11
@N OPTIONS WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES CHEM TILL CO2
1 OP Y Y N N N N Y M
@N METHODS WTHR INCON LIGHT EVAPO INFIL PHOTO HYDRO NSWIT MESOM MESEV MESOL
1 ME M M E R S R R 1 G S 2
@N MANAGEMENT PLANT IRRIG FERTI RESID HARVS
1 MA R R R R R
@N OUTPUTS FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT VBOSE CHOUT OPOUT
1 OU N Y Y 1 Y N Y Y N N Y N N

@ AUTOMATIC MANAGEMENT
@N PLANTING PFRST PLAST PH2OL PH2OU PH2OD PSTMX PSTMN
1 PL 18274 18313 40 100 30 40 10
@N IRRIGATION IMDEP ITHRL ITHRU IROFF IMETH IRAMT IREFF
1 IR 30 50 100 GS000 IRO01 10 1
@N NITROGEN NMDEP NMTHR NAMNT NCODE NAOFF
1 NI 30 50 25 FE001 GS000
@N RESIDUES RIPCN RTIME RIDEP
1 RE 100 1 20
@N HARVEST HFRST HLAST HPCNP HPCNR
1 HA 0 19157 100 0

```

**Anexo 12** Actividades realizadas en el cultivo de maíz INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (Maíz nutritivo).



**Figura 1.** Delimitación de las parcelas (07/11/2018)



**Figura 2.** Siembra maíz INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (09/11/2018)



**Figura 3.** Toma de datos de altura y número de hojas (25/01/2019)



**Figura 4.** Toma de datos largo y ancho de hojas para determinar IAF (18/02/2019)



**Figura 5.** Cosecha de maíz INIAP 103 “*Mishqui Sara*” (06/06/2019)

## Anexo 13 Análisis de suelo en la Estación Experimental Litoral del Sur



**ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR**  
**"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"**  
**LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS**  
 Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador  
 Teléfono: 042724260 - 042724119 e-mail: labsuelos.eels@iniap.gob.ec

### INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA	
Nombre :	JHULIANA CALVA	Nombre :	N/E	Informe No. :	21549
Dirección :	N/E	Provincia :	LOJA	Responsable Muestreo :	Cliente
Ciudad :	N/E	Cantón :	LOJA	Fecha Muestreo :	14/09/2018
Teléfono :	N/E	Parroquia :	LOJA	Fecha Ingreso :	18/09/2018
Fax :	N/E	Ubicación :	N/E	Condiciones Ambientales :	T°C: 23.0 %H: 56.0
				Factura No. :	05641
				Fecha Análisis :	03/10/2018
				Fecha Emisión :	05/10/2018
				Fecha impresión :	05/10/2018
				Cultivo Actual :	BARBECHO

N° Laborat.	Identificación del Lote	pH	ug/ml											
			* NH 4	* P	K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	Cu	*Fe	*Mn	*B	* Cl
68629	LOJA	4.8 <b>MAc RC</b>	25 <b>M</b>	17 <b>M</b>	103 <b>M</b>	375 <b>B</b>	118 <b>B</b>	10 <b>B</b>	3.3 <b>M</b>	5.2 <b>A</b>	313 <b>A</b>	34.0 <b>A</b>	0.50 <b>B</b>	

Interpretación	pH	
NH <sub>4</sub> , P, K, Ca, Mg, S	<b>MAc</b> = Muy Acido	N = Neutro
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	<b>Ac</b> = Acido	<b>LAl</b> = Lig. Alcalino
<b>B</b> = Bajo	<b>MeAc</b> = Med. Acido	<b>MeAl</b> = Med. Alcalino
<b>M</b> = Medio	<b>LAc</b> = Lig. Acido	<b>Al</b> = Alcalino
<b>A</b> = Alto	<b>PN</b> = Prec. Neutro	<b>RC</b> = Requiere Cal

Determinación	Metodología	Extractante
NH <sub>4</sub> , P	Colorimetría	Olsen
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica	pH 8.5
S	Turbidimetría	Fosfato de Ca
B	Colorimetría	Monobásico
Cl	Volumetría	Pasta Saturada
pH	Potenciométrica	Suelo: agua (1:2.5)

Niveles de Referencia Optimos			
Medio (ug/ml)			
NH <sub>4</sub>	20 - 40	Mg	121.5 - 243
Fe	20 - 40		
P	10 - 20	S	10 - 20
Mn	5 - 15		
K	78 - 156	Zn	2.0 - 7.0
B	0.5 - 1.0		
Ca	800 - 1600	Cu	1.0 - 4.0
Cl			17 - 34

N/E = No entregado

<LC = Menor al Limite de Cuantificación

Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo

Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al OAE

Las opiniones, interpretaciones, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación solicitado al OAE


\*\* Ensayo subcontratado

Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad


Responsable Técnico del Laboratorio  
**Mgs. Diana Acosta J.**



**Anexo 14** Registro de asistencia de estudiantes de Quinto ciclo "A" de la exposición de resultados.







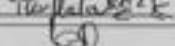


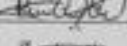







**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS**  
**NATURALES RENOVABLES**  
**CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**



**Registro de asistencia para la socialización de  
 Resultados del trabajo de tesis titulado 'Evaluación y Calibración  
 del Modelo de Simulación de Cultivos DSSAT CERES-MAIZE bajo Condiciones  
 Andinas**

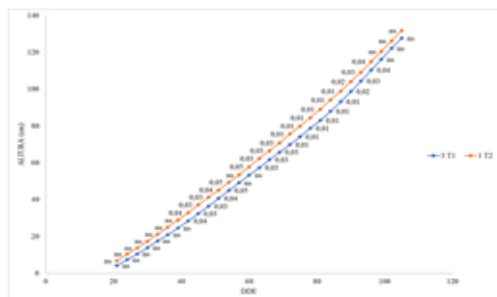
**Fecha:** Viernes 30 de agosto del año 2019  
**Hora:** 9H00 a.m.

N°	Nombres y Apellidos	N° de cedula	Firma
	Josy Tatiana Guzmán Yca	1800938142	
	Gabriela del Olivo Pinedo G	1106055828	
	Luzmila Efraim Guzmán Nungu	1105326243	
	Kevin Iván Guerrero Salinas	120032904	
	Aria Belén Reinoso Pacheco	1105821100	
	Gabriela Marcel Jiménez Jiménez	1105671183	
	Rosa Alexandra Jiménez Jiménez	1105734817	
	Mauri - Gabriela Jiménez	1150112810	
	Saneth Karolena Lomas Guerrero	1150169838	
	Marina Alejandra López Guisasa	1105116524	
	Janeth Alejandra Jiménez Lata	1150133111	
	Ludeth Marcelino Soledad Flores	1105231092	
	REV Enayra Romeo Gontijo	1150008688	
	Isabel Miguel Romero Menzambres	092504435 1	
	Ray Aivil Merino Combeas	1150112973	

**Anexo 15.** Tríptico presentado en la exposición de los resultados obtenidos.

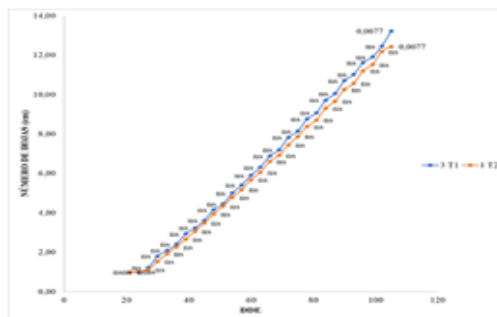
**3.2. Altura**

La altura en el T2 es superior al T1. Se observan diferencias significativas a los 40 - 58 y del 64 - 95 DDE con un p valor 0,0430 y 0,0264

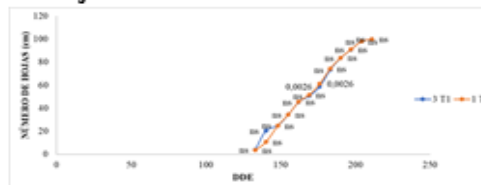


**3.3. Número de hojas**

El número de hojas en el T1 es similar al T2, observándose diferencias a los 102 DDE, con un p valor 0,3423

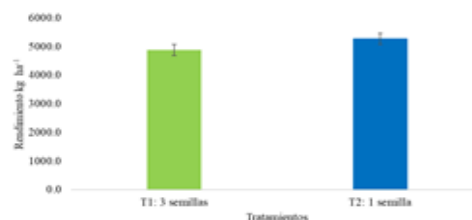


**3.4 Hoja seca**



El porcentaje de hoja seca en el T2 es superior al T1. Se observan diferencias significativas a los 176 DDE con un p valor 0,0026

**4. Rendimiento**



En el rendimiento del cultivo de maíz, no se observan diferencias significativas entre los dos tratamientos, sin embargo, el tratamiento 2 presentó un rendimiento más alto (5269.6 kg ha<sup>-1</sup>), frente a 4876.7 kg ha<sup>-1</sup> del tratamiento 1.



**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE  
RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERIA  
AGRONÓMICA**

**TÍTULO:**

**Evaluación y calibración del  
modelo de simulación de cultivos  
DSSAT CERES-Maize bajo  
condiciones andinas**

**Autora. Jhuliana Calva**

2019

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays L*) es el más importante de los cereales a nivel mundial, debido a que existe una tendencia creciente por la diversificación en el uso del maíz; ya que se puede utilizar para consumo humano y pecuario.

Los factores que limitan el bajo rendimiento de maíz son la utilización de material genético no adaptado y seleccionado, inadecuado manejo de los cultivos y a factores climáticos.

Un modelo es “una representación simplificada de un sistema real” los modelos de simulación de cultivos del *DSSAT* utilizan archivos de datos para clima, suelo y manejo del cultivo, los modelos permiten simular el crecimiento de cultivos de importancia económica y han demostrado alta confiabilidad en distintas condiciones.

## OBJETIVO

Evaluar y calibrar el modelo de simulación de cultivo *DSSAT CERES - Maize* en perspectiva de mejorar la producción y sostenibilidad en la región Andina.

## TRATAMIENTOS

**T1: 3 Semillas**

**T2: 1 Semilla**

## RESULTADOS

### 1. Fenología

El periodo de evaluación empezó desde el día 0 (Siembra) a los 193-1997 DDS (cosecha), en los diferentes tratamientos respectivamente.

FASES FENOLÓGICAS	TRATAMIENTOS	
	3 SEMILLAS (DDS)	1 SEMILLA (DDS)
Siembra	06/11/2018 (0)	06/11/2018 (0)
Emergencia	3/12/2018 (27)	10/12/2018 (34)
4 hojas verdaderas	18/12/2018 (42)	21/12/2018 (45)
8 hojas verdaderas	02/01/2019 (57)	05/01/2019 (60)
12 hojas verdaderas	14/01/2019 (69)	17/01/2019 (72)
Floración masculina	19/01/2019 (78)	23/01/2019 (78)
Floración femenina	28/01/2019 (83)	30/01/2019 (85)
Grano acunoso	27/03/2019 (142)	27/03/2019 (141)
Grano lechoso	16/04/2019 (162)	16/04/2019 (161)
Grano masoso	02/05/2019 (178)	02/05/2019 (177)
Madurez fisiológica	21/05/2019 (197)	21/05/2019 (193)

Existen diferencias de días en las dos densidades de siembra en las etapas de emergencia, 4-8-12 hojas verdaderas y floración, alcanzando más rápido estas fases el tratamiento de 3 semillas, sin embargo, estas diferencias no son significativas.

### 2. Integral térmica

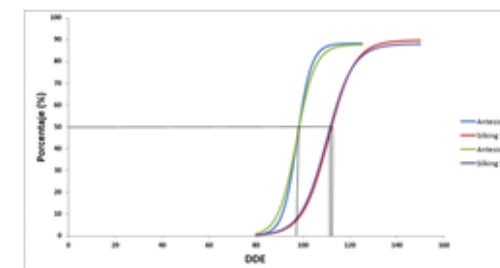
Integral térmica del cultivo de maíz (*Zea mays L*. en los diferentes tratamientos.

FENOFASE	Tb (°C)	T1 (3 Semillas)		T2 (1 Semilla)	
		IT (°C día)	Días	IT (°C día)	Días
Siembra-Emergencia	8	141,9	13	163,7	14
Emergencia-4 HV	8	108,0	12	88,15	10
4 HV-8 HV	8	237,83	30	261,43	33
8 HV-12 HV	8	101,80	12	100,03	12
12 HV-Flor masculina	8	395,50	45	373,67	42
Flor masculina-Flor femenina	8	137,73	15	137,73	15
Flor femenina-madurez fisiológica	8	627,63	69	627,63	69
Total (Siembra - Cosecha)	8	1750,39	197	1752,34	193

Integral térmica calculada a partir de la temperatura media durante el ciclo de cultivo y el número de días necesarios para alcanzar la siguiente fase fenológica. En T1 se necesitó un total de 1750,39 °C, para llegar a la cosecha a los 197 DDS, mientras que en T2 se necesitó un total de 1752,34 °C para llegar a la cosecha a los 193 DDS.

### 3. Crecimiento

#### 3.1. Floración



Floración desde la siembra hasta los 98 DDS para antesis, y 112-113 DDS para silking en las cuales no se observan diferencias significativas entre los tratamientos,