



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TÍTULO

**EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE
SIMULACIÓN DE CULTIVO DSSAT SUBSTOR –POTATO
BAJO CONDICIONES ANDINAS**

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

Autor:

José Lucio González Armijos

Directora:

PhD. Mirian Irene Capa Morocho

LOJA – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



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 CULTIVOS DSSAT SUBSTOR-POTATO BAJO CONDICIONES ANDINAS**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, del egresado José Lucio González Armijos, 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 realizada ha sido el trabajo propio del egresado.

Loja, 01 de agosto del 2019

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

DIRECTORA DE TESIS

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE GRADO



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



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 CULTIVOS DSSAT SUBSTOR-POTATO BAJO CONDICIONES ANDINAS**, de autoría del señor José Lucio González Armijos, egresado 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 Recursos Naturales Renovables, por lo tanto, se autoriza continuar con los trámites correspondientes.

Loja, 30 de agosto del 2019

Ing. Javier Guayllas Guayllas Mg.Sc.

PRESIDENTE

Ing. Marlene Molina Müller PhD

VOCAL

Ing. Luis Sivisaca Caraguay Mg. Sc.

VOCAL

AUTORÍA

Yo José Lucio González Armijos declaro ser el autor del presente trabajo de Tesis y absuelvo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

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



.....
José Lucio González Armijos

CI: 1900789767

Fecha: 06/09/2019

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, José Lucio González Armijos, declaro ser el autor de la tesis titulada EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE CULTIVO DSSAT SUBSTOR-POTATO 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 en su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

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

La Universidad Nacional no se responsabiliza por el plagio de dicha investigación que realice una tercera persona.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los seis días del mes de septiembre, del dos mil diecinueve.

Datos autor:

Firma:.....

Autor: José Lucio
González Armijos

Cedula: 1900789767

Dirección: Teodoro Wolf y Albert
Einstein

Correo electrónico:
jlgonzaleza.1996@gmail.com

Celular: 0989717218

Datos Complementarios

Director de tesis:

Ing. Mirian Irene Capa Morocho

Tribunal de grado:

Ing. Javier Guayllas Guayllas Mg.Sc.

PRESIDENTE

Ing. Marlene Molina Müller PhD

VOCAL

Ing. Luis Sivisaca Caraguay Mg.Sc.

VOCAL

AGRADECIMIENTO

Gracias a la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería Agronómica y a todos los docentes que compartieron sus valiosos conocimientos durante mis cinco años de estudios

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a la Ing. Mirian Irene Capa PhD, principal colaboradora durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo.

José Lucio González Armijos

DEDICATORIA

*El presente trabajo se lo dedico a Dios
por la vida, la salud, la sabiduría
Que me permitió culminar con éxitos mis estudios;
a mis padres Víctor y Laura por su apoyo incondicional,
a mis hermanos por su motivación,
a toda mi familia de manera general.*

José Lucio González Armijos

ÍNDICE GENERAL

Pág.

| | |
|---|----------|
| CERTIFICACIÓN..... | ii |
| CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE GRADO | ii |
| AUTORÍA | iii |
| CARTA DE AUTORIZACIÓN | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| DEDICATORIA..... | vii |
| ÍNDICE GENERAL..... | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xiv |
| RESUMEN | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivos | 2 |
| 1.1.1. Objetivo General..... | 2 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos | 2 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1. El cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)..... | 3 |
| 2.1.1. Importancia..... | 3 |
| 2.2. Origen..... | 3 |
| 2.2.1. Fenología y crecimiento | 3 |
| 2.2.2. Integral térmica en papa..... | 5 |
| 2.2.3. Producción y rendimiento de la papa..... | 5 |
| 2.2.3.1. Producción a nivel mundial | 5 |
| 2.2.3.2. Producción a nivel nacional..... | 6 |
| 2.2.3.3. Producción a nivel local..... | 6 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.2.4. | Manejo del cultivo de la papa..... | 7 |
| 2.2.5. | Rendimiento Potencial y alcanzable | 9 |
| 2.2.5.1. | Rendimiento potencial: | 9 |
| 2.2.5.2. | Rendimiento alcanzable: | 9 |
| 2.3. | Modelos de simulación | 9 |
| 2.3.1. | Importancia de uso y aplicaciones..... | 9 |
| 2.3.2. | Tipos de modelos..... | 10 |
| 2.3.3. | DSSAT (<i>Decision Support System for Agrotechnology Transfer</i> SUBSTOR-Potato)..... | 10 |
| 2.4. | Datos requeridos por el modelo | 11 |
| 2.4.1. | Clima | 11 |
| 2.4.2. | Suelo | 11 |
| 2.4.3. | Manejo del cultivo | 11 |
| 3. | MATERIALES Y MÉTODOS | 12 |
| 3.3. | Ubicación | 12 |
| 3.4. | Materiales..... | 13 |
| 3.5. | Diseño experimental | 13 |
| 3.6. | Delineamiento experimental | 13 |
| 3.7. | Metodología General..... | 14 |
| 4. | RESULTADOS..... | 18 |
| 4.3. | Fenología..... | 18 |
| 4.3.2. | Integral térmica..... | 20 |
| 4.3.3. | Crecimiento | 20 |
| 4.3.3.1. | Altura | 20 |
| 4.3.3.2. | Peso fresco y seco | 23 |
| 4.3.3.3. | Área foliar..... | 28 |
| 4.3.3.3.1. | Relación área foliar y número de hojas | 29 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.3.3.4. | Correlaciones | 31 |
| 4.4. | Rendimientos | 32 |
| 4.4.1. | Características de la semilla..... | 32 |
| 4.4.2. | Rendimiento..... | 32 |
| 4.5. | Calibración del modelo DSSAT – SUBSTOR-Potato..... | 32 |
| 4.5.1. | Base de datos suelo..... | 32 |
| 4.5.2. | Base de datos de clima..... | 34 |
| 4.5.3. | Base de datos cultivo y calibración | 35 |
| 5. | DISCUSIÓN | 37 |
| 6. | CONCLUSIONES | 43 |
| 7. | RECOMENDACIONES | 44 |
| 8. | BIBLIOGRAFÍA | 45 |
| 9. | ANEXOS | 53 |

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

| | |
|---|----|
| Figura 1. Acumulación de grados día (Σ °D) de las fases fenológicas..... | 5 |
| Figura 2. Curva de rendimiento t ha ⁻¹ de papa a nivel nacional 2002-2017..... | 6 |
| Figura 3. Curva de rendimiento t ha ⁻¹ de papa en la provincia de Loja, periodo 2002-2017 | 7 |
| Figura 4. Localización del estudio, Quinta Experimental Docente La Argelia, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja..... | 12 |
| Figura 5. Curva sigmoideal de las fases de desarrollo del cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i>): A) Emergencia, B) Floración, C) Tuberización. | 19 |
| Figura 6. Curva de crecimiento del cultivo de papa <i>Solanum tuberosum</i> L. subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> | 21 |
| Figura 7. Tasa Relativa de Crecimiento en relación a la altura de las plantas de papa <i>Solanum tuberosum</i> | 22 |
| Figura 8. Tasa de crecimiento absoluta en relación a las alturas de las plantas de papa <i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> | 22 |
| Figura 9. Curva de crecimiento de la biomasa de los órganos de papa <i>Solanum</i> <i>tuberosum</i> . subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> : A) Regadío y B) Secano. | 26 |
| Figura 10. Materia seca (g*planta ⁻¹) de órganos de papa <i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> : A) Regadío y B) Secano..... | 27 |
| Figura 11. Tasa de Crecimiento relativa de los diferentes órganos de <i>Solanum</i> <i>tuberosum</i> | 28 |
| Figura 12. Área foliar en función del largo de la hoja de papa en diferentes estadios..... | 29 |
| Figura 13. Relación del área foliar y el número de hojas según el tratamiento regadío..... | 30 |
| Figura 14. Relación del área foliar y el número de hojas según el tratamiento secano..... | 30 |
| Figura 15. Regresión utilizando el AF para estimar el peso fresco y seco de las hojas. | 31 |
| Figura 16. Regresión lineal números de hojas y número de estolones..... | 31 |
| Figura 17. Rendimiento de papa en los tratamientos de Regadío y Secano..... | 32 |

| | |
|---|----|
| Figura 18. 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 19. Valores observados y simulados del peso de los tubérculos..... | 36 |

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Principales fases fenológicas del cultivo de papa..... | 4 |
| Tabla 2. Características del ensayo establecido en el Sector los Molinos, Quinta Experimental Docente La Argelia..... | 14 |
| Tabla 3. Fenología de cultivo de papa <i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> en los diferentes tratamientos. | 18 |
| Tabla 4. Integral térmica del cultivo de papa <i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i>) en los diferentes tratamientos. | 20 |
| Tabla 5. Altura del cultivo de papa (cm) <i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> | 21 |
| Tabla 6. Análisis de peso fresco (biomasa) de los diferentes órganos de papa <i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> | 24 |
| Tabla 7. Análisis de peso seco (materia seca) de los diferentes órganos de papa <i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> | 25 |
| Tabla 8. Área foliar del cultivo de papa <i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> , en los tratamientos Regadío y Secano | 29 |
| Tabla 9 Características física – químicas del perfil del suelo en la Quinta Experimental Docente La Argelia..... | 33 |
| Tabla 10. Constantes hidrofísicas del perfil del suelo en la Quinta Experimental Docente La Argelia. | 33 |
| Tabla 11. Coeficientes genéticos obtenidos para el cultivo de papa <i>Solanum tuberosum</i> subespecie <i>andígena</i> variedad <i>superchola</i> | 35 |
| Tabla 12. Comparación entre los valores observados y simulados en el tratamiento de secano con el modelo de simulación de cultivos SUBSTOR-Potato. | 35 |

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Diámetro (cm) y peso (g) de los tubérculos para semilla y de los tubérculos de cosecha..... | 53 |
| Anexo 2. Promedios anuales de temperatura máxima, mínima y media, precipitación y humedad relativa | 53 |
| Anexo 3. Correlaciones entre las diferentes variables evaluadas. Los coeficientes en negritas indican las correlaciones significativas (p-valor < 0.05). | 56 |
| Anexo 4. Análisis del rendimiento en los tratamientos regadío y seco..... | 57 |
| Anexo 5. Base de datos del suelo utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato | 57 |
| Anexo 6. Base de datos del clima utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato. | 57 |
| Anexo 7. Base de datos del manejo del cultivo de papa utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato..... | 58 |
| Anexo 8. Actividades de campo realizado en el cultivo de papa variedad <i>superchola</i> | 59 |
| Anexo 9. Análisis de suelo en la Estación Experimental Litoral del Sur..... | 60 |
| Anexo 10. Comparación del peso de tubérculos de los datos observados y simulados expresados en Kg..... | 62 |
| Anexo 11. Registro de asistencia de estudiantes de Quinto ciclo "A" de la exposición de resultados | 63 |
| Anexo 12. Tríptico presentado en la exposición de los resultados obtenidos | 65 |

**EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL
MODELO DE SIMULACIÓN DE CULTIVO
DSSAT SUBSTOR -POTATO BAJO
CONDICIONES ANDINAS**

RESUMEN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) es una de las principales fuentes de alimentación e ingresos, y es considerado alimento esencial en el Ecuador. Los efectos del cambio y variabilidad climática amenazan los rendimientos de los cultivos, constituyéndose en un riesgo para la seguridad alimentaria. La correcta simulación de las tendencias futuras de los rendimientos agrícolas puede ayudar a adaptar un sistema de cultivo para aprovechar las condiciones favorables o reducir los efectos de las condiciones adversas. Por lo cual, como una alternativa para contrarrestar el efecto de la variabilidad y cambio climático, y contribuir a la soberanía alimentaria es necesario realizar la presente investigación, en la cual se evaluó y calibró el modelo- de simulación SUBSTOR-Potato, incluido en la plataforma DSSAT, usando datos de ensayos de campo con variedades nativas y manejo propios de la región. Con este propósito, se estableció el cultivo de papa, variedad *superchola*, en la Quinta Experimental Docente La Argelia perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, parroquia San Sebastián en un periodo de 4 meses (noviembre 2018 – marzo 2019), con los tratamientos regadío y seco, evaluando la fenología, integral térmica, crecimiento (altura, biomasa, materia seca, área foliar) y rendimientos en cada tratamiento. Dentro de la fenología, se observaron diferencias de días en las variables emergencia y tuberización, sin embargo, estas no fueron significativas; con el cálculo de la integral térmica se determinó que en seco se necesitó 3.63 °C/día más que en regadío para llegar a madurez fisiológica. No se encontraron diferencias significativas entre el índice de área foliar de los tratamientos, sin embargo, el cultivo en seco mostró los valores más altos (1.54 m²/m²). Los rendimientos en regadío (6.33 t ha⁻¹) fueron superiores a los de seco (5.69 t ha⁻¹), sin manifestar diferencias significativas debido a que durante el ciclo del cultivo se presentaron altas precipitaciones. 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 m, textura, estructura, densidad aparente, carbono orgánico, color del suelo) y datos del manejo del cultivo (fechas de siembra, densidad, fertilización, riego y fecha de cosecha). En la calibración se determinó los coeficientes genéticos G2:100, G3:10.0, PD: 0.25, P2:0.4 y TC: 11, los cuales permitieron un mejor ajuste entre los datos simulados y medidos de las variables crecimiento del tubérculo, rendimiento y ocurrencia de eventos fenológicos.

Palabras claves: *Solanum tuberosum*, SUBSTOR-potato, Modelización, Calibración, Andes

ABSTRACT

Potato cultivation (*Solanum tuberosum* L) is one of the main sources of food and income, and is considered essential food in Ecuador. The effects of climate change and variability threaten crop yields, becoming a risk to food security. The correct simulation of future trends in agricultural yields can help to adapt a crop system to take advantage of favorable conditions or reduce the effects of adverse conditions. Therefore, as an alternative to counteract the effect of climate variability and change, and contribute to food sovereignty, it is necessary to carry out this research, in which the simulation-model SUBSTOR-Potato was evaluated and calibrated, included in the DSSAT platform, using data from field trials with native varieties and management typical of the region. For this purpose, potato cultivation, *superchola* variety, was established in the experimental Experiment La Algeria, belonging to the National University of Loja, San Sebastian parish in a period of 4 months (november 2018- march 2019), with irrigated treatments and dry land, evaluating the phenology, thermal integral, growth (height, biomass, dry matter, leaf area) and yields in each treatment. Within the phenology, differences of days were observed in the variables emergency and tuberization, however, these were not significant; with the calculation of the thermal integral it was determined that in dry land it was needed $3.63^{\circ}\text{C} / \text{day}$ more than in irrigation to reach physiological maturity. No significant differences were found between the leaf area index of the treatments, however, the dry land culture showed the highest values ($1.54 \text{ m}^2/\text{m}^2$). The irrigated yields (6.33 t ha^{-1}) were higher than those of dry land (5.69 t ha^{-1}), without showing significant differences due to high rainfall during the crop cycle. For the calibration of the crop simulation model, the climatic databases were built on a daily scale (precipitation, maximum and minimum temperature, wind speed, relative humidity, radiation), soil data (horizons up to 1 m, texture, structure, apparent density, organic carbon, soil color) and crop management data (planting dates, density, fertilization, irrigation and harvest date). In the calibration the genetic coefficients G2: 100, G3: 10.0, PD: 0.25, P2: 0.4 and TC: 11 were determined, which allowed a better fit between the simulated and measured data of the variables tuber growth, yield and occurrence of phenological events.

Keywords: *Solanum tuberosum*, SUBSTOR-potato, Modeling, Calibration, Andes

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) es una de las principales fuentes de alimentación, ingresos, mano de obra, su alto rendimiento energético la convierte, en un alimento esencial para aquellas regiones donde existen escasas alternativas productivas. Sin embargo, los rendimientos aún siguen siendo bajos en comparación con países como Nueva Zelanda (45.7 t ha⁻¹) y Bélgica (43.9 t ha⁻¹). Los países que contribuyen con el 60 % de la producción de papa en el mundo son: China, India, Rusia, EEUU y Alemania. A nivel de América de Sur el mayor productor es Perú, mientras que Ecuador se sitúa en el octavo lugar (Fabien, 2016).

La papa tiene un contenido mayor de nutrientes que los cereales, y es adaptable en los climas frescos, ya que no soporta las heladas y los climas cálidos (Sifuentes *et al.*, 2013) La producción de papa en Ecuador se distribuye en tres zonas geográficas: norte, centro y sur. Las diferencias agroecológicas están determinadas por las relaciones entre clima, fisiografía y desarrollándose en terrenos irregulares hasta 45 % de pendiente, a una altitud de 2 400 a 3 800 m.s.n.m. con temperaturas desde los 11°C (Cucás, 2010).

Los factores que limitan la producción de papa son temperaturas altas, días de corta duración, baja intensidad de luz, malas condiciones físicas del suelo, niveles de aplicación de fertilizantes y presencia de enfermedades como el tizón tardío CARPIOCA (2010). Los efectos del cambio climático amenazan los rendimientos esperados de los cultivos agrícolas, ocasionado un riesgo para la seguridad alimentaria de los países desencadenando una serie de amenazas a la agricultura y alimentación como: sequías, inundaciones severas y aumento de plagas y enfermedades (GIPB, 2009).

Para minimizar el efecto del cambio climático se puede optar por ciertas alternativas como recolección y protección de parientes silvestres, realizar modelaciones y pronósticos agroclimáticos y utilizar tecnologías de información y comunicación (TICs) que ayudarán a monitorear el cambio climático y enfrentar los eventos climáticos extremos (Alonso, 2014).

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 ciertas investigaciones, como la realizada por Sarmiento y Bowen, (2002), en la que utilizó SUBSTOR para estudiar el crecimiento y la dinámica de absorción de nitrógeno, la simulación resultó adecuada para hojas y raíces pero sobreestimó el contenido de N en tallos y tubérculos. Soto *et al.* (2018), al utilizar SUBSTOR, determinó que las raíces, tallos, hojas y estolones presentan un crecimiento exponencial en las fases tempranas, determinado principalmente por la tasa de crecimiento relativo (TCR), alcanzando su máxima acumulación de biomasa entre los 800 y 900 GDA.

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 SUBSTOR –Potato 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 papa *Solanum tuberosum* subsp *andígena* var. *superchola* relacionada a la integral térmica.
- Comparar los rendimientos de papa bajo condiciones de regadío y secano.
- Evaluar y calibrar el modelo ecofisiológico SUBSTOR-Potato para el cultivo de papa andina mediante ensayos de campo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

2.1.1. Importancia

La papa es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo en términos de consumo, después del arroz y del trigo. Aproximadamente 1.4 mil millones de personas alrededor del mundo consumen papa como alimento básico. La papa es esencial en términos de seguridad alimentaria frente al crecimiento de la población y al aumento de las tasas globales de hambre (CIPOTATO, 2018).

En Ecuador, el cultivo de la papa es una de las principales actividades agrícolas debido al alto contenido nutricional del producto y por su presencia en la dieta diaria de los ecuatorianos (SIPA, 2016). Se estima que América Latina produce más de 12 millones de toneladas métricas anuales de papa, donde las exportaciones e importaciones regionales de papa representa más de 9 % de su producción interna, con tendencia creciente (Rodrigues, 2013).

2.2. Origen

La mayor diversidad genética de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivada y silvestre se encuentra en las tierras altas de los Andes de América del Sur. La primera crónica escrita por Pedro Cieza de León en 1538 señala que encontró tubérculos que los indígenas llamaban “papas”, primero en la parte alta del valle del Cuzco, Perú y posteriormente en Quito, Ecuador. El centro de domesticación del cultivo se encuentra en los alrededores del Lago Titicaca (Pumisacho y Sherwood, 2002).

Según, la evolución de las especies de papa cultivada, esta se originó a partir de una especie diploide *Solanum phureja* la cual se encontraba distribuida en tiempos prehispanicos desde el centro del Perú hasta Ecuador, Colombia y Venezuela (Pumisacho y Sherwood, 2002).

2.2.1. Fenología y crecimiento

La fenología de los cultivos toma gran importancia cuando se relaciona con el momento del riego, ya que la sensibilidad al estrés hídrico varía con la etapa fenológica del cultivo. La sucesión fenológica del cultivo de papa se inicia con el brotamiento del tubérculo,

continuando con el desarrollo de tipo vegetativo, para finalmente alcanzar la madurez fisiológica, con la culminación de la tuberización. De forma general y según la variedad, el cultivo de papa puede ser de 3 a 7 meses, de tal forma que se puede tener dirección de comportamientos de tipo precoz, semi-tardío o tardío. Este ciclo puede ser mayor o menor en función a las condiciones climatológicas, prácticas agronómicas fisiológicamente orientadas, entre otros (Toledo *et al.*, 2006). Según Flores *et al.* (2014), las fases fenológicas de la papa son: Siembra, crecimiento de yemas y raíces, emergencia, desarrollo vegetativo e inicio de la formación de tubérculos, desarrollo del tubérculo (inicio de la tuberización), madurez fisiológica de la planta y tubérculos, tuberización de tubérculos y cosecha (Tabla 1).

- a. **Etapa vegetativa.** Inicia con el rompimiento de la latencia de la semilla y termina con el inicio de la formación de tubérculos variando entre 15 a 30 días (Sifuentes *et al.*, 2009).
- b. **Tuberización.** Inicia cuando los estolones aparecen. La duración de esta etapa varía de 10 a 14 días. Un déficit de humedad en este periodo puede reducir el número de tubérculos producidos por cada planta.
- c. **Desarrollo de tubérculos.** Se caracteriza especialmente por la acumulación de carbohidratos (en forma de almidón), con un incremento constante en el tamaño y peso de los tubérculos, bajo condiciones óptimas de humedad. Esta etapa puede durar de 60 a 90 días, lo que depende del clima, variedad, sanidad del cultivo y otros factores.
- d. **Maduración.** Empieza con la caída del follaje, donde las hojas viejas se tornan amarillas hasta llegar gradualmente a un color café al madurar. Tiene lugar un crecimiento mínimo de los tubérculos y los requerimientos hídricos van disminuyendo por la reducida evapotranspiración de las hojas en el proceso de secado (Sifuentes *et al.*, 2009).

Tabla 1. Principales fases fenológicas del cultivo de papa.

| No. | Clave | Fase fenológica (Descripción) | Duración promedio (días) |
|-----|-------|---|--------------------------|
| 1 | N/A | Siembra | 0 |
| 2 | V1 | Crecimiento de yemas y raíces | 0-22 |
| 3 | V2 | Emergencia | 23-32 |
| 4 | V3 | Desarrollo vegetativo e inicio de formación de tubérculos | 33-41 |
| 5 | R1 | Desarrollo de tubérculos (inicio de tuberización) | 42-49 |
| 6 | R2 | Madurez fisiológica de la planta y tubérculos | 50-66 |
| 7 | R3 | Tuberización de tubérculos | 67-115 |
| 8 | N/A | Cosecha | |

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

2.2.2. Integral térmica en papa

La temperatura es una de las principales fuerzas impulsoras para el crecimiento y el desarrollo de los cultivos y varios estados fenológicos se manifiestan a través de su desarrollo (Salazar *et al.*, 2013). La temperatura base para el cálculo de la integral térmica para el cultivo de papa es de 7°C ya que la papa puede resistir a temperaturas bajas de 0 °C a 10 °C para la tuberización (Flores *et al.*, 2014).

La acumulación de temperatura media diaria por encima de una temperatura base, conocido como tiempo térmico (grados-día de crecimiento o desarrollo, GDC), se define como la cantidad de grados día necesarios para finalizar un determinado proceso de desarrollo o fase fenológica (López *et al.*, 2010). Los grados-día son las unidades que miden el calor que la planta recibe cada día y se acumula a lo largo de su desarrollo. La papa puede resistir a temperaturas adversas en el rango comprendido entre los 0° a 40 °C (Sifuentes *et al.*, 2013). En la Figura 1 se muestran los grados días para de las fases fenológicas de la papa propuestas por (Flores *et al.*, 2014). Sin embargo las integrales térmicas varían según el cultivar.

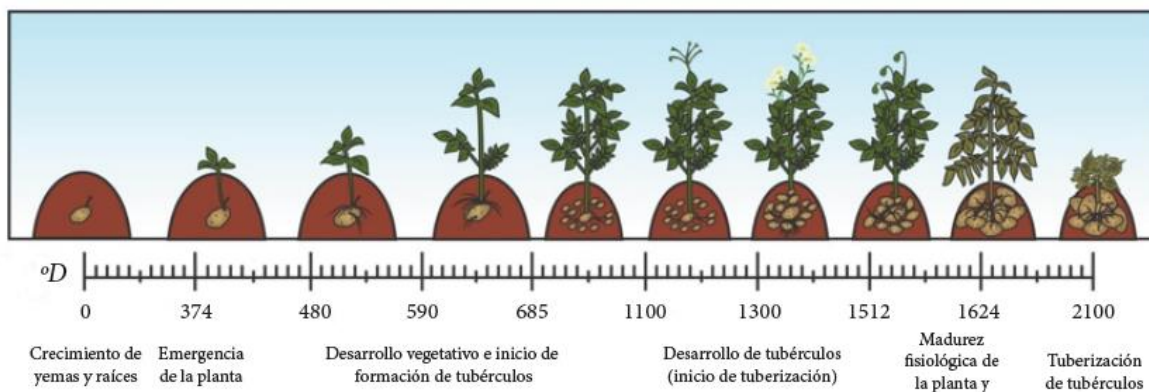


Figura 1. Acumulación de grados día (Σ °D) de las fases fenológicas

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

2.2.3. Producción y rendimiento de la papa

2.2.3.1. Producción a nivel mundial

El mayor productor de papa es China con el 17 % de la producción mundial seguida de Rusia 12.3 %, Polonia 9.1%, U.S.A. 7.1 % e India 6.4 %. En el puesto 23 está Perú con el 0.7 %, constituye el 25 % del PBI y es la base alimenticia de los pueblos andinos (UCSM, 2017).

2.2.3.2. Producción a nivel nacional

En Ecuador, la papa ocupa el primer lugar entre las raíces y tubérculos, plantándose cada año alrededor del 29 532 ha año⁻¹, con un rendimiento medio de 12.8 t ha⁻¹ y una producción anual de 377 243 t. Durante el ciclo 2017, la provincia de Pichincha tuvo un rendimiento superior a la media nacional con 18.9 t ha⁻¹, mientras que la zona con menor productividad fue Carchi con 17.30 t ha⁻¹ (SIPA, 2018).

La curva del rendimiento de papa a nivel nacional del período 2002-2017 muestra un crecimiento exponencial teniendo así en el 2002 un rendimiento de 4.9 t ha⁻¹, en 2017 12.8 t ha⁻¹ y una media de 8.59 t ha⁻¹ en este período. (Figura 2)

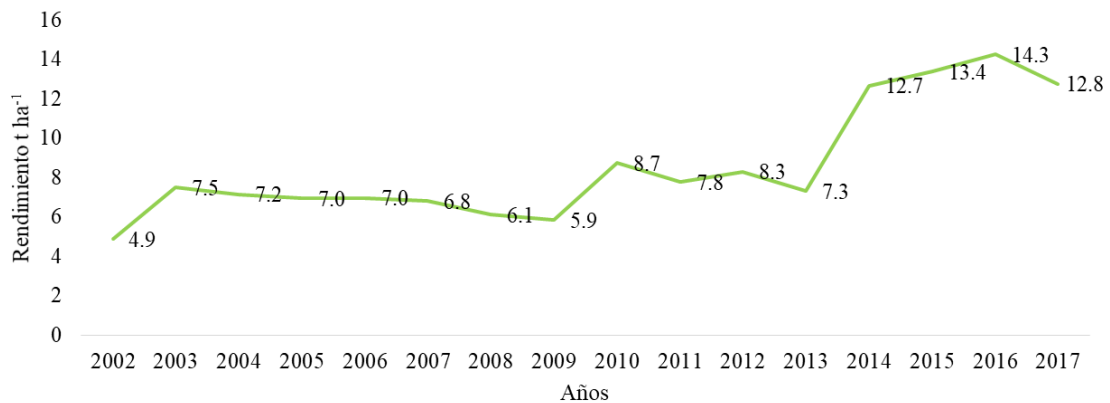


Figura 2. Curva de rendimiento t ha⁻¹ de papa a nivel nacional 2002-2017

Fuente: INEC/SIPA

2.2.3.3. Producción a nivel local

Loja se encuentra ubicada en la zona media de la zonificación agroecológica moderna para el cultivo de papa la que presenta condiciones de mediana a alta accesibilidad de servicios e infraestructura para la producción, mostrando de ligeras a moderadas limitaciones para el cultivo con un 6 % del total Nacional (MAG, 2014), siendo la provincia menos productiva con 3.9 t ha⁻¹ (Monteros, 2016).

El rendimiento de la papa en la provincia de Loja, periodo 2002-2017 a diferencia de la media nacional (8.59 t ha⁻¹), se menciona en la Figura 3. Se puede indicar que el rendimiento ha sido variable con un crecimiento negativo, por debajo de la media nacional, teniendo así un rendimiento de 6.8 t ha⁻¹ en 2004 y 1.1 t ha⁻¹ en 2008, con una

media de 3 t ha⁻¹. Los bajos rendimientos se deben a las bajas precipitaciones presentes en el ciclo de cultivo (MAG, 2014).

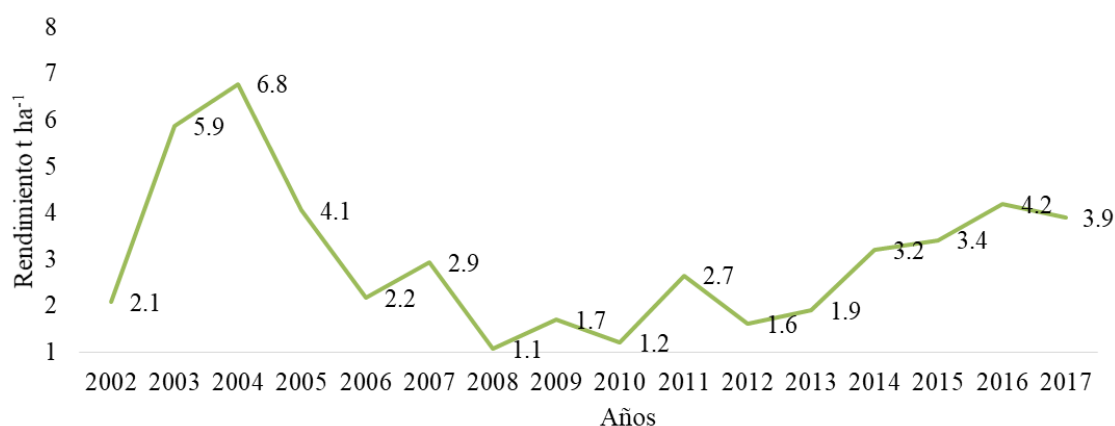


Figura 3. Curva de rendimiento t ha⁻¹ de papa en la provincia de Loja, periodo 2002-2017

Fuente: INEC/SIPA

2.2.4. Manejo del cultivo de la papa

PUMISHACO, (2009) menciona que en Ecuador la papa se siembra sobre los 2 800 m.s.n.m. Según el MAG, (2014) a través del proyecto SICA, en el país se siembra 50 000 ha por año con un incremento anual del 1.2 % y un rendimiento de 8.4 t ha⁻¹. Para la siembra se utilizan densidades de 30 cm a 50 cm entre planta y de 100 cm a 120 cm entre surco, en un marco de plantación de hasta 4 000 Kg de semilla ha⁻¹, con 33 333.3 puntos de siembra por ha, sembrándose principalmente en los meses de mayo a junio. Se identifican tres regiones diferentes que se dedican a su cultivo: al Norte se siembra en las provincias de Carchi e Imbabura; al centro Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar; y al Sur, Cañar, Azuay y Loja (PUMISHACO, 2009).

Las zonas recomendadas para la siembra de la variedad superchola es la zona norte y centro de la Sierra ecuatoriana que van desde los 2 800 a 3 600 m.s.n.m. Con una maduración de 180 días a los 3 000 m.s.n.m. y una producción de 30 t ha⁻¹. Es susceptible a lancha (*Phytophthora infestans*), medianamente resistente a roya (*Puccinia pittieriana*) y tolerante al nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) (Torres *et al.*, 2011).

2.2.4.1. Requerimientos climáticos y edáficos

La altitud para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) es de 2 600 a 3 600 msnm. La temperatura en sus diferentes fases: Desarrollo: 15 - 20°C, Inicio tuberización: 15 °C,

Tuberización: 14 – 20°C. Precipitación: 600 a 1 500 mm por ciclo, Suelos: Francos, bien drenados, profundos (30-35 cm), con buen contenido de materia orgánica y pH 5-6.

Las principales labores que se realizan en el cultivo son:

- a. **Fertilización.**- Labor realizada entre los 15 - 21 días después de la siembra. Sirve para incorporar el fertilizante complementario y para el control de malezas.
- b. **Deshierba.**- Remover la superficie del suelo para el control de malezas y permitir que el suelo se airee. Se la realiza entre 30 - 35 días después de la siembra, cuando las plantas tengan de 10 - 15 cm de altura (Velásquez *et al.*, 2017).
- c. **Aporque.**- Tienen el propósito de incorporar una capa de suelo a fin de cubrir los estolones en forma adecuada, ayudando a crear un ambiente propicio para la tuberización (Velásquez *et al.*, 2017).

En general, los cultivos extraen grandes cantidades de N, P, S, K, Ca, Mg y algunos micronutrientes como Cu, Zn y Co. La papa es un cultivo altamente exigente de nutrientes del suelo, especialmente fósforo por ser un nutriente de poca movilidad Hidalgo y (Navarrete, 2009).

La fertilización de la papa es una práctica generalizada en el país y muy variada en cuanto a dosis, fuentes y épocas de aplicación. En algunas zonas, en particular en Carchi, se usan altas cantidades de fertilizantes químicos, provocando desbalances iónicos que afectan la absorción de otros nutrientes (Pumisacho y Sherwood, 2002).

- d. **Controles fitosanitarios.**- Labores complementarias que se realizan para el control de plagas (insectos, enfermedades) en el suelo y en las plantas. (Velásquez *et al.*, 2017).
- e. **Riego.**- El cultivo necesita entre 600 - 700 mm de agua bien distribuida a lo largo del ciclo vegetativo. Las etapas críticas donde no debe faltar agua son los periodos de floración y tuberización (Velásquez *et al.*, 2017).
- f. **Cosecha.**- La labor manual con la ayuda de azadones realizada cuando la planta entre en senescencia es decir los tallos se viran y las hojas se vuelven amarillas y se secan (Velásquez *et al.*, 2017).

2.2.5. Rendimiento Potencial y alcanzable

2.2.5.1. Rendimiento potencial:

Se define como el rendimiento de un cultivar en ambientes a los que está adaptado, con nutrientes y agua no limitantes y con un efectivo control de plagas, enfermedades y malezas (Evans y Fischer, 1999).

2.2.5.2. Rendimiento alcanzable:

Se define como el rendimiento alcanzado en los campos por los agricultores con un manejo adecuado del cultivo, sin limitación de nutrientes, control de plagas y enfermedades, pero con el factor limitante del agua (Cisneros, 2010).

2.3. Modelos de simulación

2.3.1. 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)

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).

2.3.2. Tipos de modelos

Hernández *et al.*, (2009) Manifiesta que los modelos de simulación se clasifican en dos grandes grupos: empíricos y mecanicistas. Los primeros son descriptivos, se derivan de datos observados sin involucrar procesos fisiológicos y tienen escasa capacidad explicativa. Por el contrario, los modelos mecanicistas poseen capacidad explicativa de la fisiología del cultivo, porque consideran aspectos como la temperatura, la radiación fotosintéticamente activa, el índice de área foliar, la fotosíntesis, la respiración y la eficiencia en el uso de la radiación.

2.3.3. DSSAT¹ (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer SUBSTOR-Potato*)

El modelo describe el desarrollo y crecimiento fenológico diario en respuesta a factores ambientales (suelos, clima y manejo). DSSAT utiliza el Modelo de Ritchie para calcular la evaporación y transpiración del cultivo, y actualizar diariamente el balance hídrico del suelo en función de los procesos de transferencia del agua que afectan el perfil del suelo. Las etapas de crecimiento simuladas por DSSAT SUBSTOR incluyen germinación de brotes, emergencia, iniciación de tubérculos, madurez y cosecha (Stastna *et al.*, 2010).

El modelo incluye cinco coeficientes específicos de cultivares (G2, G3, P2, TC y PD) que controlan la inicialización del tubérculo, el desarrollo del área foliar y la tasa de crecimiento del tubérculo. Estos coeficientes determinan las respuestas de los cultivos a la gestión y los factores ambientales, y su nivel de rendimiento. G2 ($\text{cm}^2 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) es la tasa de desarrollo del área foliar y G3 ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) es la tasa de crecimiento del tubérculo (Malkia *et al.*, 2016).

Los coeficientes P2 y TC son unidades que corresponden al efecto del fotoperiodo y la sensibilidad a la temperatura. P2 toma valores entre 0 y 1, donde los valores más bajos se asignan para los cultivos tardíos, los que se desarrollan con menos horas de radiación diaria. TC es el valor de temperatura por encima del cual se inhibe la iniciación del tubérculo. PD es un coeficiente adimensional que describe la reducción del crecimiento de los tubérculos después de la inducción de la tuberización (Malkia *et al.*, 2016).

¹ DSSAT: Sistema de Apoyo a la Decisión para la Transferencia de Agrotecnología

2.4. Datos requeridos por el modelo

2.4.1. Clima

Los datos de clima a introducir en el módulo son valores diarios: Temperatura máxima ($T^{\circ}\text{C}$) y mínima ($T^{\circ}\text{C}$), Temperatura del suelo ($T^{\circ}\text{C}$) (calculado), Precipitación (mm), Radiación Global ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$), Humedad Relativa Media (HR %), y Velocidad del viento (km h^{-1}) (Montoya, 2013).

2.4.2. Suelo

Los parámetros para la modelización: Horizonte del suelo, Espesor (cm), limo (Lo %), Arcilla (Ac %), Arena (Ar %), contenido de agua en capacidad de campo (FC), contenido de agua en Punto de Marchitez Permanente (PMP), Contenido de agua en Saturación (SAT), Densidad Aparente (g cm^{-3}), Conductividad hidráulica saturada (K_{sat}), Número de curva (NC), Carbono orgánico (%), Nitrógeno Total (%), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC, $\text{meq } 100\text{g}^{-1}$), Potasio Intercambiable ($K_{\text{int}} \text{ cmol kg}^{-1}$), Calcio intercambiable (Ca cmol kg^{-1}), pH, Albedo de superficie y factor de crecimiento de raíz (C raíz) (Montoya, 2013).

2.4.3. Manejo del cultivo

Son diferentes parámetros de manejo que toma en cuenta el modelo para simulaciones: Condiciones iniciales del suelo, riego, fertilización, cosecha, laboreo, residuos, clasificación o tipo de cultivo, plantación, emergencia (GDD o fecha), madurez-cosecha (GDD o fecha), densidad de plantación, profundidad de plantación (Z plant), Fotoperiodo, temperatura base, temperatura superior, área foliar específica a la temperatura óptima ($\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$), máxima extracción hídrica radicular, eficiencia del uso de la radiación, coeficientes genéticos (G2, G3, PD, P2 y TC), estrés hídrico, estrés por frío, calor y estrés por fertilización mineral (Montoya, 2013).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.3. Ubicación

La presente investigación se realizó en la Quinta Experimental Docente La Argelia de la Universidad Nacional de Loja ubicado en la parroquia 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 4). 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 al análisis de suelo, posee un pH de 5.3 y 1.5 % de materia orgánica.

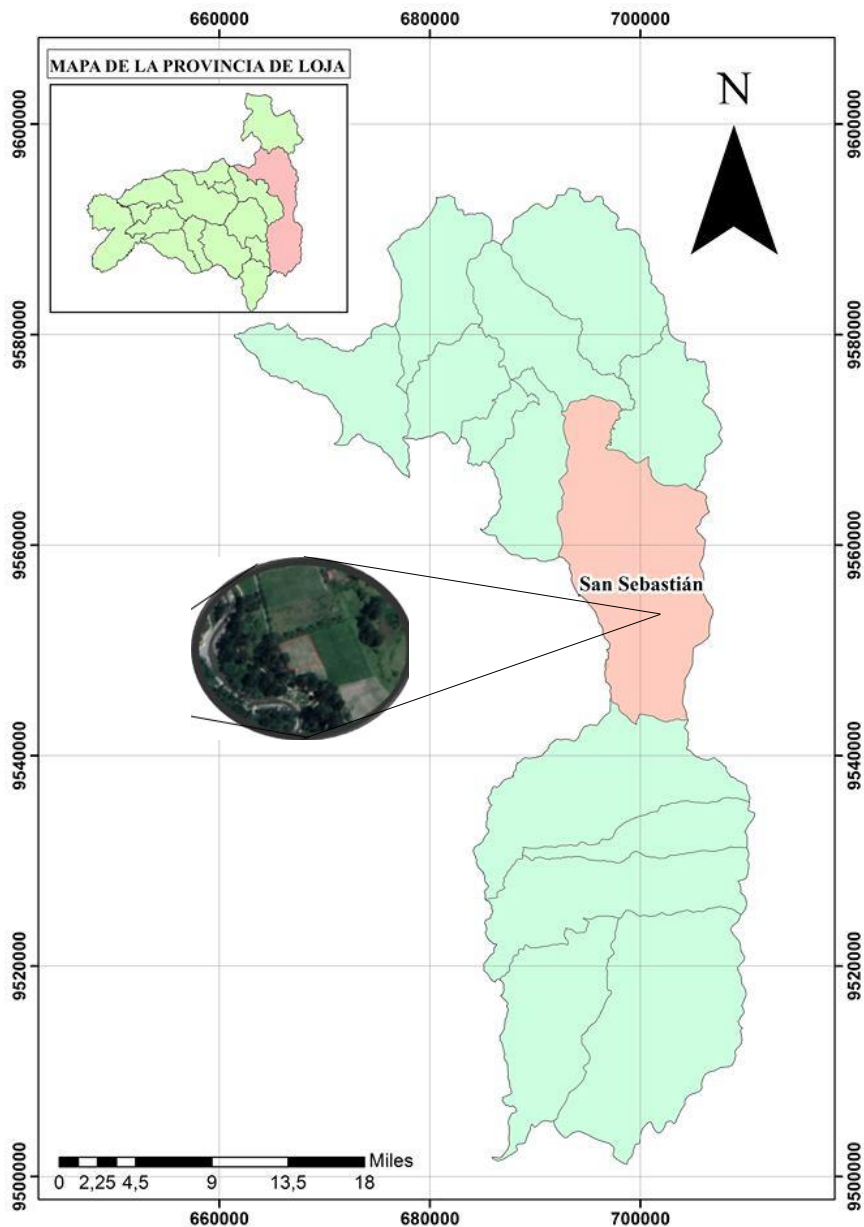


Figura 4. Localización del estudio, Quinta Experimental Docente La Argelia, perteneciente a La Universidad Nacional de Loja, de la parroquia San Sebastián.

3.4. Materiales

Material de laboratorio: Probetas, pipetas, vasos de precipitación, termómetro, platos de cerámica, anillos de hule, anillos de acero inoxidable, bureta y matraz

Equipos: Tensiómetros, estufa, ollas de presión, compresor de aire.

Sustancias: Agua destilada. Ácido sulfúrico, ácido ortofosfórico, solución de dicromato de potasio 1 N, difenilamina.

Insumos: Humus, Semilla *Solanum tuberosum* subsp. *andígena* var *superchola*, fertilización química (10-30-10), e insecticida (Insector).

De campo: Barretas, palas, muestreador, cilindros kopecky, tabla Munsell, espátula, combo, martillo, fundas plásticas, fundas de papel, podadora, lampa, azadon, balde, balanza digital, cinta masking, periódico, cajas de madera, flexómetro, cinta numérica, cámara fotográfica, letreros, bomba de fumigar, manguera de goteo (12 mm), calculadora, regla, calibrador, etiquetas, estacas y saquillos.

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

3.5. Diseño experimental

La investigación se desarrolló con un diseño de bloques al azar, con 2 tratamientos (regadío y seco) y 4 repeticiones, siendo la unidad experimental la parcela, formada por 12 surcos, aproximadamente, 17 plantas/surco.

3.6. 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

| | |
|--|--------------------|
| Número de tratamientos | 2 |
| Número de repeticiones | 4 |
| Tamaño de la parcela | 8.50 m x 12 m |
| Número de unidades experimentales | 8 |
| Distancia entre surcos | 1.20 m |
| Distancia entre plantas | 0.50 m |
| Número de surcos por parcela | 12 |
| Semillas por golpe | 2 |
| Número de plantas por surco | 17 |
| Número de plantas por parcela | 204 |
| Número total de plantas | 1 362 |
| Área útil | 660 m ² |

3.7. Metodología General

Con el propósito de contribuir a mejorar la soberanía alimentaria y contrarrestar los efectos del cambio climático, se estableció el cultivo de papa con la aplicación de dos tratamientos: regadío y secano; en los cuales se determinó la fenología e integral térmica, se evaluó el crecimiento de las plantas, además de determinar la biomasa y materia seca mediante laboratorio sometiendo a cada órgano (hojas, tallos, estolones, raíz, tubérculos) de la planta a una temperatura de 105 °C en la estufa por 24 horas. Se realizó la comparación del rendimiento en los dos tratamientos regadío y secano. Con los datos obtenidos de los ensayos, se efectuó la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato utilizando la base de datos del clima, suelo y cultivo elaborados previamente.

3.7.1. Metodología para el primer objetivo: *“Determinar la fenología y crecimiento del cultivo de papa Solanum tuberosum subsp andígena, var. superchola relacionada a la integral térmica”.*

Se instaló el sistema de riego en campo utilizando cintas de goteo de 12 mm, acompañado de dos tensiómetros a 30 y 60 cm de profundidad. Se estableció el cultivo de papa

subespecie *andígena* variedad *superchola* a una densidad de siembra de 120 cm entre surcos y 50 cm entre planta.

Fenología: El muestreo se realizó a partir del surco dos hasta el 11 para eliminar los efectos de borde. Para determinar la fenología, se registró la fecha de siembra, fecha de emergencia, fecha inicio tuberización y fecha cosecha.

Toma de datos: Para registrar la fecha de emergencia de los tubérculos se seleccionaron los dos surcos centrales de cada parcela, en ellas, cada 2 a 3 días se contabiliza el número de plantas emergidas en las dos hileras señaladas anteriormente. Posteriormente se ajustó una curva sigmoideal a las observaciones y considerando la fecha de emergencia correspondiente al 50 % de la población en emergencia. Para determinar el inicio de tuberización, se contó el número de plantas con la presencia de tubérculos, ajustando una curva sigmoideal a las observaciones, se determinó la fecha de tuberización que corresponde al 50 % de la población en tuberización, realizándose el mismo procedimiento para la floración.

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 $Tm = \frac{(Tmáxima + T\ mínima)}{2}$

Tb= Temperatura base (cero) vital de crecimiento de la papa (7°C).

Área foliar: El área foliar se calculó mediante una regresión simple entre el largo y ancho de la hojas de papa y el área foliar previamente calculada mediante métodos no destructivos (Photoshop). Para este propósito se midieron las hojas de diferentes tamaños. El índice de área foliar se calculó mediante división aritmética entre el área de las hojas (expresado en m²) y el área de suelo ocupado por dichas planta (expresado en m²) (Aguirre *et al.*, 2011).

Crecimiento: Para el crecimiento se midieron variables como: altura de planta (cm), peso promedio de la semilla (g/unidad), área foliar, número de estolones, biomasa y materia seca de cada órgano y diámetro de cada tubérculo por planta.

Materia seca: Se pesaron por separado las hojas, tallo, raíz, tubérculos, estolones, y papa madre (tubérculo semilla) en fresco, luego se colocó en la estufa a 105 °C por 24 horas, a partir de estos datos, se calculó la tasa de crecimiento absoluta (TCA) siguiendo el análisis de crecimiento vegetal de (Hunt, 1978).

3.7.2. Metodología para el segundo objetivo: *“Comparar los rendimientos de papa bajo condiciones de regadío y secano”*.

Para comparar los rendimientos de papa bajo condiciones de regadío y secano se tomaron los datos de rendimiento de los surcos centrales (surco 6 y 7) planta por planta de los dos tratamientos y se compararon los resultados expresándolos en $t\ ha^{-1}$, elaborando gráficos y mostrando el coeficiente de variación existente.

3.7.3. Metodología para el tercer objetivo: *“Evaluar y calibrar el modelo ecofisiológico SUBSTOR-Potato para el cultivo de papa andina mediante ensayos de campo”*.

Base de datos del suelo: Se construyó una calicata de 120 cm, 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 uno.

Base de datos del clima: Se solicitaron datos climáticos al INAMHI durante los meses de Octubre 2018 – Junio 2019, datos diarios de precipitación (mm), temperatura máxima, media y mínima (°C), humedad relativa (HR %), velocidad del viento ($km\ h^{-1}$) y radiación ($MJ\ m^2\ dia^{-1}$) (Ver anexo 2).

Base de datos del cultivo: Se determinaron los coeficientes genéticos propios de cada variedad, las fechas y dosis de fertilización, días y dosis de riego, controles fitosanitarios y labores culturales.

Calibración del modelo: Dentro de la plataforma digital de DSSAT se encuentra los cultivos de raíz (*Root Crops*) y dentro de estos la papa (Potato). La plataforma fue cargada

con los datos de agua, suelo y manejo para poder simular correctamente. Se calibró el rendimiento y la fenología, integrando los coeficientes genéticos.

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. En el modelo se incluyó una matriz de varianzas covarianzas de tipo auto regresivo heterogéneo de orden 1. Los p-valores $< 0,05$ fueron consideradas como significativos.

4. RESULTADOS

4.3. Fenología

La tabla 3 muestra la fenología a lo largo del ciclo del cultivo, donde se observan diferencias de días en los tratamientos de regadío y seco en las etapas de emergencia y tuberización, alcanzando más rápido estas fases el tratamiento con regadío, sin embargo, estas diferencias no son significativas.

Tabla 3. Fenología de cultivo de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola* en los diferentes tratamientos.

| FASES FENOLÓGICAS | TRATAMIENTOS | |
|-------------------|--------------------------------|---------------------|
| | REGADÍO (DDS ²) | SECANO (DDS) |
| Siembra | 6/11/2018 (0) | 06/11/2018 (0) |
| Emergencia | 3/12/2018 (27) | 10/12/2018 (34) |
| Floración | 19/01/2019 (74) | 19/01/2019 (74) |
| Tuberización | 28/01/2019 (83) | 30/01/2019 (85) |
| Cosecha | 26/03/2019 (140) | 26/03/2019 (140) |

4.3.1. Fases Fenológicas

La Figura 5 presenta las curvas sigmoideas de las fases de desarrollo del cultivo de papa. En el caso de la emergencia, se observaron diferencias entre los dos tratamientos. Con regadío se encontró el 50% de plantas emergidas a los 27 DDS y en seco a los 34 DDS, además de una emergencia del total de plantas evaluadas a los 45 DDS (Figura 5A).

En cuanto a floración del cultivo de papa no se observó diferencias en los dos tratamientos, encontrándose el 50% de plantas en floración en regadío y seco a los 74 DDS. Sin embargo, se encontraron diferencias en la floración del total de plantas evaluadas, alcanzando el 100% a los 94 DDS en regadío y a los 114 DDS en seco (Figura 5B). En la tuberización del cultivo de papa, se observaron diferencias en los dos tratamientos, tendiendo así que en regadío se encontró el 50% de plantas tuberizadas a los 83 DDS y en seco a los 85 DDS. Sin embargo, la tuberización del total de plantas

² DDS (Días después de la siembra)

evaluadas fue a los 97 DDS, tanto en secano como en regadío (Figura 5C). Las diferencias se presentan debido a la utilización del riego en los primeros días del cultivar porque se mantuvo una humedad constante del suelo lo que permitió una efectiva emergencia observándose también en la tuberización.

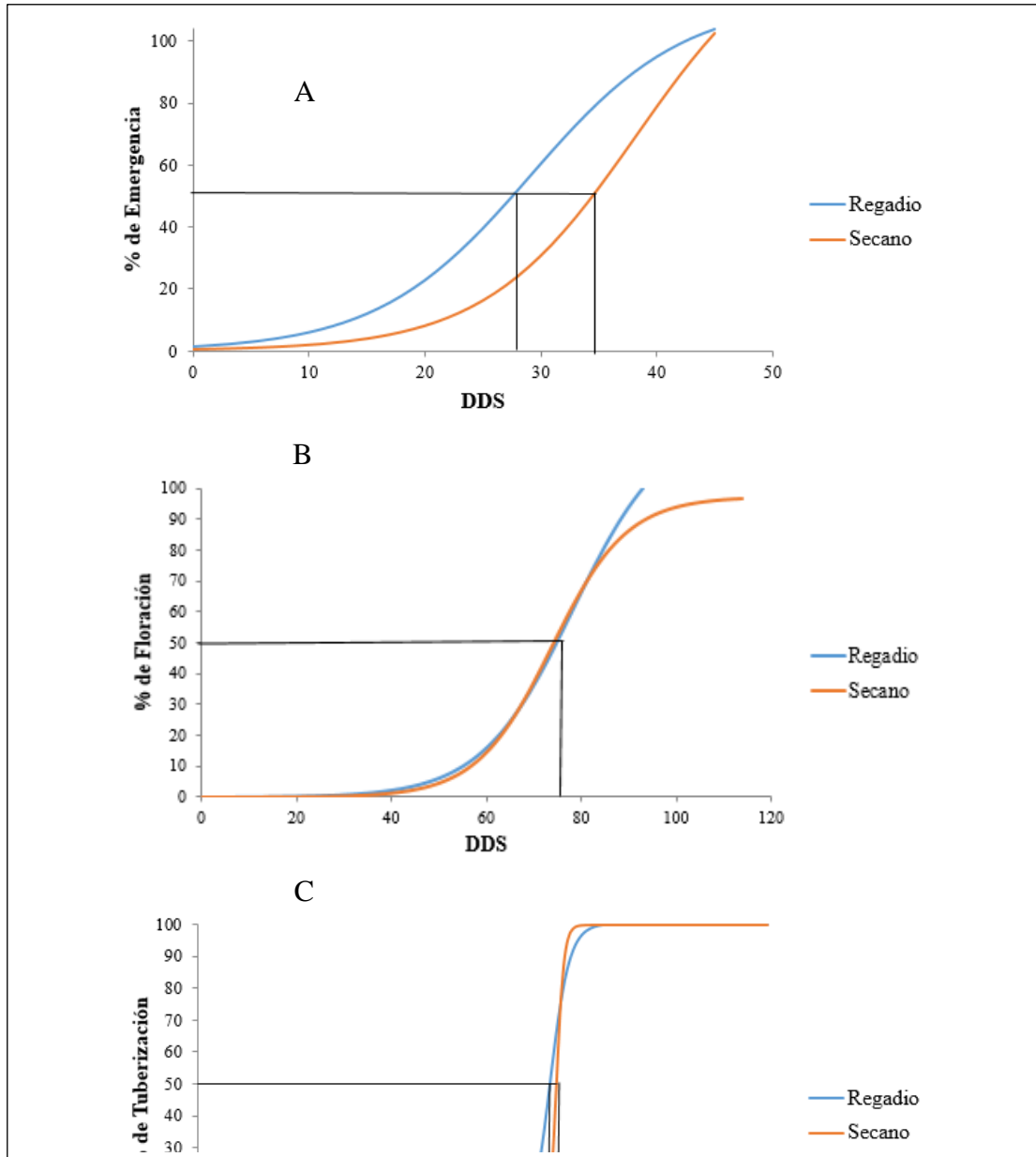


Figura 5. Curva sigmoideal de las fases de desarrollo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*): A) Emergencia, B) Floración, C) Tuberización.

4.3.2. 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. En regadío se necesitó un total de 1 401.56 °C, para llegar a la cosecha a los 140 DDS, mientras que en secano se necesitó un total de 1 397.93 °C para llegar a la cosecha a los 140 DDS. Entre los dos tratamientos evaluados no existen diferencias significativas (3.63°C) en la acumulación de °C hasta la cosecha, sin embargo, difieren en el número de días utilizados para alcanzar las diferentes fases fenológicas siendo más rápido el tratamiento de Regadío, estas diferencias se explican que al mantener la humedad constante en el suelo los procesos fisiológicos se desarrollan con normalidad.

Tabla 4. Integral térmica del cultivo de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*) en los diferentes tratamientos.

| FENOFASE | Tb (°C) | Regadío | | | Secano | | |
|--------------------------------------|---------|-------------|-----------|------|-------------|-----------|------|
| | | IT (°C día) | °C (Acum) | Días | IT (°C día) | °C (Acum) | Días |
| Siembra- Emergencia | 7 | 309.7 | 309.27 | 27 | 369.7 | 369.7 | 34 |
| Emergencia- Floración | 7 | 423.83 | 733.13 | 47 | 361.07 | 730.77 | 40 |
| Floración- Tuberización | 7 | 83.60 | 817.13 | 9 | 104.33 | 835.1 | 11 |
| Tuberización - Cosecha | 7 | 584.43 | 1401.56 | 57 | 562.83 | 1397.93 | 55 |
| Total (Siembra – Cosecha) | 7 | 1401.56 | | 140 | 1397.93 | | 140 |

°C: Grados centígrados, **IT**: Integral térmica, °C **Acum**: Grados célicos Acumulados

4.3.3. Crecimiento

4.3.3.1. Altura

En la Tabla 5, se presentan las medias de altura de las plantas de papa expresadas en cm desde la siembra hasta los 114 DDS, en las cuales se observan diferencias significativas entre los tratamientos regadío y secano a los días 51 y 58 DDS, con un p-valor de 0.02 y 0.04 respectivamente, estas diferencias se pueden deber a que la parcela bajo riego recibió la incorporación de fertilizantes químico (10-30-10) más agua; no así, la parcela bajo secano que sólo recibió el fertilizante químico pero por falta de humedad se podría dificultar la asimilación de dicho fertilizante.

Tabla 5. Altura del cultivo de papa (cm) *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*.

| DDS | TRATAMIENTOS | | EEM | P-valor |
|-----|--------------|--------|-------|---------|
| | REGADÍO | SECANO | | |
| 0 | 0 | 0 | | |
| 16 | 0.573 | 0.177 | 0.374 | 0.29 |
| 23 | 2.284 | 0.768 | 1.106 | 0.17 |
| 30 | 6.063 | 2.048 | 2.215 | 0.07 |
| 37 | 10.97 | 5.007 | 3.815 | 0.12 |
| 44 | 18.033 | 11.794 | 4.383 | 0.16 |
| 51 | 26.878 | 16.371 | 4.429 | 0.02* |
| 58 | 35.858 | 23.724 | 5.864 | 0.04* |
| 65 | 45.412 | 35.085 | 7.901 | 0.20 |
| 72 | 57.882 | 47.257 | 8.694 | 0.23 |
| 79 | 68.716 | 60.298 | 8.138 | 0.30 |
| 86 | 80.284 | 72.665 | 7.001 | 0.28 |
| 93 | 92.323 | 86.338 | 6.301 | 0.35 |
| 100 | 92.323 | 86.912 | 5.651 | 0.34 |
| 107 | 92.323 | 87.154 | 5.371 | 0.34 |
| 114 | 92.323 | 87.206 | 5.327 | 0.34 |

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

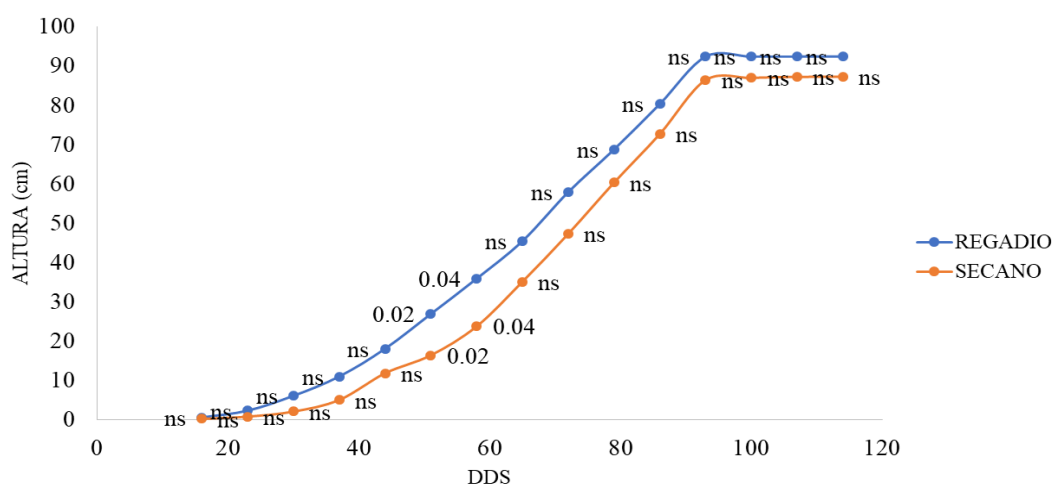


Figura 6. Curva de crecimiento del cultivo de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*.

En la Figura 6, se muestra la curva de crecimiento del cultivo de papa sometido a los tratamientos regadío y seco, donde se pueden observar que la altura en el cultivo bajo

riego fue superior al de seco. Sin embargo, solo se observaron diferencias significativas a los 51 y 58 DDS, con diferencias de 10.5 y 12 cm respectivamente.

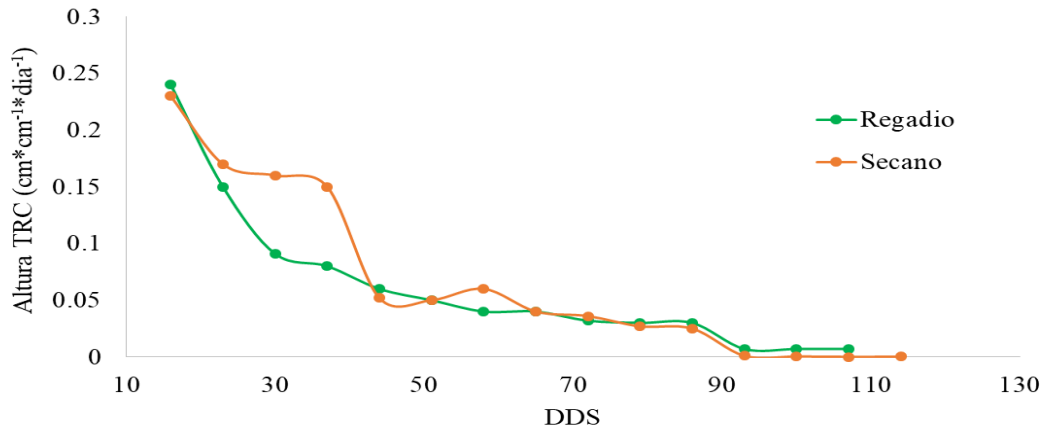


Figura 7. Tasa Relativa de Crecimiento en relación a la altura de las plantas de papa (*Solanum tuberosum*) Subespecie *andígena* variedad *superchola* en los tratamientos de regadío y seco.

En la Figura 7, se observa la TRC, en los tratamientos de regadío y seco con relación a la altura de las plantas, donde a los 16 DDS, se observa un crecimiento de 0.24 en regadío y 0.25 ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) en seco, mostrándose un crecimiento negativo hasta llegar a los 107 DDS con valores de 0.007 en regadío y 0.00009 ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) en seco.

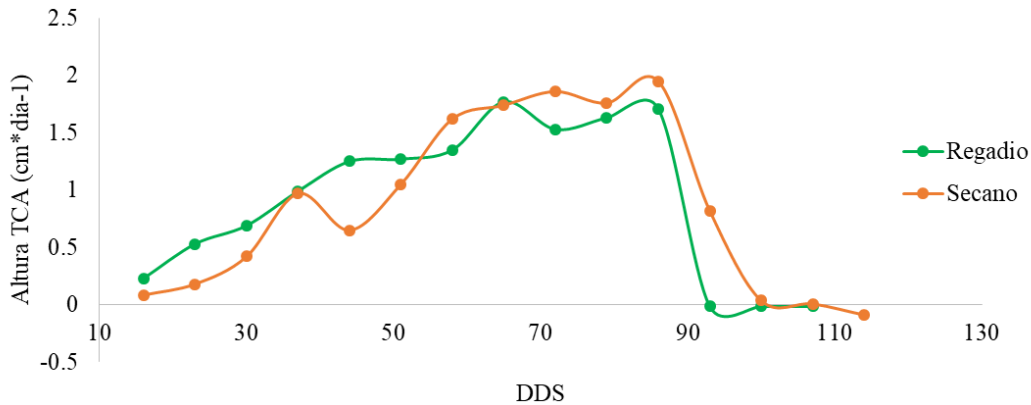


Figura 8. Tasa de crecimiento absoluta en relación a las alturas de las plantas de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*.

En la Figura 8, se observa la Tasa de Crecimiento Absoluta, en los tratamientos de regadío y seco con relación a la altura de las plantas, donde a los 16 DDS, se observa un crecimiento de 0.23 $\text{cm} \cdot \text{día}^{-1}$ en regadío y 0.084 $\text{cm} \cdot \text{día}^{-1}$ en seco, el mismo que va incrementando con el paso de los días hasta llegar a los 93 DDS con valores de 1.71 en regadío y 1.95 ($\text{cm} \cdot \text{día}^{-1}$) en seco, presentando valores de -0.015 y 0.007 ($\text{cm} \cdot \text{día}^{-1}$) en regadío y seco, respectivamente a los 107 DDS.

4.3.3.2. Peso fresco y seco

El análisis del peso fresco y seco de los diferentes órganos (raíz, hojas, tallos, estolones, tubérculos, papa madre, total) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos regadío y secano (Tabla 6 y 7).

En la Tabla 6, se observa el análisis de peso fresco (biomasa) de los diferentes órganos de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*, en el cual, no se observan diferencias significativas entre los tratamiento de regadío y secano. Sin embargo, los pesos frescos de los diferentes órganos de la papa son superiores en el tratamiento en secano, que en regadío. Los datos de cero se derivan a que en la última semana de evaluación no se encontraron hojas debido a la senescencia temprana. No se identificaron estolones, ya que únicamente se encontraron raíces lignificadas, además a la cosecha no se encontró la papa madre (tubérculo semilla) en las plantas evaluadas.

En la Tabla 7, se observan el análisis de peso seco (materia seca) de los diferentes órganos de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*, en el cual, se aprecian diferencias en el peso de los diferentes órganos de la papa siendo superiores en el tratamiento en secano que en regadío. Sin embargo, estas diferencias no son significativas. Los datos de cero se derivan a que no se encontraron hojas, estolones y la papa madre (tubérculo semilla) en la última fecha de evaluación.

Tabla 6. Análisis de peso fresco (biomasa) de los diferentes órganos de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*

| DDS | Variables | | | | | | |
|--------------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| | Hojas | Tallos | Raíz | Estolones | Papa Madre | Tubérculo | Total |
| 43 | 17.71 ± 5.78 | 12.91 ± 4.31 | 7.53 ± 1.22 | 0 ± 0 | 78.05 ± 8.25 | 0 ± 0 | 116.2 ± 18.9 |
| 57 | 40.25 ± 12.13 | 30.56 ± 14.27 | 11.14 ± 1.98 | 0 ± 0 | 90.41 ± 5.27 | 0 ± 0 | 172.37 ± 25.43 |
| 64 | 62.58 ± 7.75 | 46.16 ± 8.13 | 16.36 ± 1.78 | 0 ± 0 | 96.47 ± 8.2 | 0 ± 0 | 221.58 ± 21.87 |
| 71 | 159.57 ± 20.9 | 99.71 ± 24.52 | 24.46 ± 4.61 | 4.18 ± 0.13 | 100.99 ± 12.79 | 0 ± 0 | 388.91 ± 52.96 |
| 78 | 149.24 ± 12.77 | 101.2 ± 22.19 | 18.6 ± 2.45 | 3.94 ± 1.04 | 100.14 ± 11.83 | 0 ± 0 | 373.13 ± 44.4 |
| 85 | 263.02 ± 31.64 | 224.42 ± 40.01 | 38.83 ± 6.03 | 13.11 ± 1.77 | 95.05 ± 5.94 | 2.3 ± 0.7 | 636.72 ± 64.27 |
| 92 | 171.79 ± 19.13 | 319.46 ± 46.11 | 31.01 ± 3.66 | 16.31 ± 1.96 | 50.44 ± 8.88 | 37.28 ± 4.59 | 626.29 ± 50.1 |
| 106 | 84.99 ± 15.83 | 383.68 ± 31.19 | 27.65 ± 2.01 | 18.49 ± 3.97 | 37.51 ± 16.31 | 220.46 ± 31.94 | 772.79 ± 59.23 |
| 120 | 30.12 ± 8.05 | 263.44 ± 36.95 | 20.64 ± 3.18 | 10.95 ± 1.53 | 6.29 ± 5.27 | 386.67 ± 47.01 | 714.01 ± 79.98 |
| 134 | | 105 ± 20.68 | 14.06 ± 1.18 | 0 ± 0 | 0 ± 0 | 525.75 ± 73.99 | 645.69 ± 87.97 |
| Tratamiento | | | | | | | |
| Regadío | 97.69 ± 10.52 | 152.17 ± 18.01 | 18.85 ± 2.38 | 0 ± 0 | 76.52 ± 5.22 | 226.02 ± 33.74 | 447.28 ± 29.81 |
| Secano | 119.93 ± 10.54 | 161.14 ± 18.01 | 23.21 ± 2.38 | 11.05 ± 1.17 | 70.24 ± 4.94 | 242.97 ± 33.74 | 486.26 ± 29.81 |
| P-valor | | | | | | | |
| DDS | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 |
| Tratamiento | 0.23 | 0.65 | 0.29 | 0.71 | 0.39 | 0.75 | 0.42 |
| DDS X Tratamiento | 0.98 | 0.92 | 0.66 | 0.19 | 0.45 | 0.75 | 0.92 |

Tabla 7. Análisis de peso seco (materia seca) de los diferentes órganos de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*.

| Variables | Hojas | Tallos | Raíz | Estolones | Papa Madre | Tubérculo | Total |
|--------------------------|--------------|---------------|-------------|------------------|-------------------|------------------|----------------|
| DDS | | | | | | | |
| 43 | 1.8 ± 0.56 | 0.78 ± 0.24 | 0.83 ± 0.12 | 0 ± 0 | 13.24 ± 2.35 | 0 ± 0 | 16.64 ± 3.74 |
| 57 | 4.46 ± 1.51 | 3.61 ± 2.17 | 2.21 ± 0.49 | 0 ± 0 | 22.44 ± 1.82 | 0 ± 0 | 32.73 ± 2.86 |
| 64 | 9.73 ± 1.36 | 7.57 ± 1.42 | 2.72 ± 0.34 | 0 ± 0 | 26.04 ± 1.83 | 0 ± 0 | 46.07 ± 3.87 |
| 71 | 20.51 ± 3.71 | 13.22 ± 4.14 | 5.57 ± 0.88 | 0.82 ± 0.13 | 7.04 ± 1.19 | 0 ± 0 | 47.15 ± 8.12 |
| 78 | 20.55 ± 1.58 | 15.3 ± 3.2 | 2.76 ± 0.36 | 0.56 ± 0.15 | 16.44 ± 1.52 | 0 ± 0 | 55.61 ± 5.27 |
| 85 | 35.17 ± 5.42 | 29.82 ± 7.91 | 6.11 ± 0.81 | 1.28 ± 0.14 | 5.14 ± 0.84 | 0.2 ± 0.054 | 77.71 ± 9.76 |
| 92 | 24.87 ± 2.96 | 42.83 ± 7.86 | 7.66 ± 0.72 | 2.89 ± 0.37 | 3.05 ± 0.47 | 5.96 ± 0.79 | 87.26 ± 7.45 |
| 106 | 12.86 ± 3.01 | 40.06 ± 6.56 | 6.48 ± 0.43 | 3.14 ± 0.52 | 2.21 ± 1.0 | 50.46 ± 7.69 | 115.21 ± 12.03 |
| 120 | 6.78 ± 1.43 | 54.38 ± 7.81 | 5.81 ± 0.9 | 3.2 ± 0.56 | 0.53 ± 0.46 | 90.84 ± 11.52 | 160.41 ± 18.31 |
| 134 | 0 ± 0 | 45.37 ± 7.86 | 5.46 ± 0.82 | 0 ± 0 | 0 ± 0 | 120.44 ± 18.57 | 177.61 ± 27.41 |
| Tratamiento | | | | | | | |
| Regadío | 13.91 ± 2.09 | 24.58 ± 4.23 | 4.15 ± 0.5 | 0 ± 0 | 11.21 ± 0.6 | 51.49 ± 8.59 | 78.29 ± 6.48 |
| Secano | 16.47 ± 2.09 | 25.97 ± 4.23 | 7.97 ± 0.5 | 1.92 ± 0.25 | 10.15 ± 0.6 | 55.67 ± 8.59 | 85.01 ± 6.78 |
| P-valor | | | | | | | |
| DDS | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0002 |
| Tratamiento | 0.45 | 0.82 | 0.29 | 0.85 | 0.34 | 0.75 | 0.52 |
| DDS X Tratamiento | 0.88 | 0.93 | 0.57 | 0.33 | 0.54 | 0.63 | 0.63 |

-Biomasa de los órganos en los tratamientos de Regadío y Secano

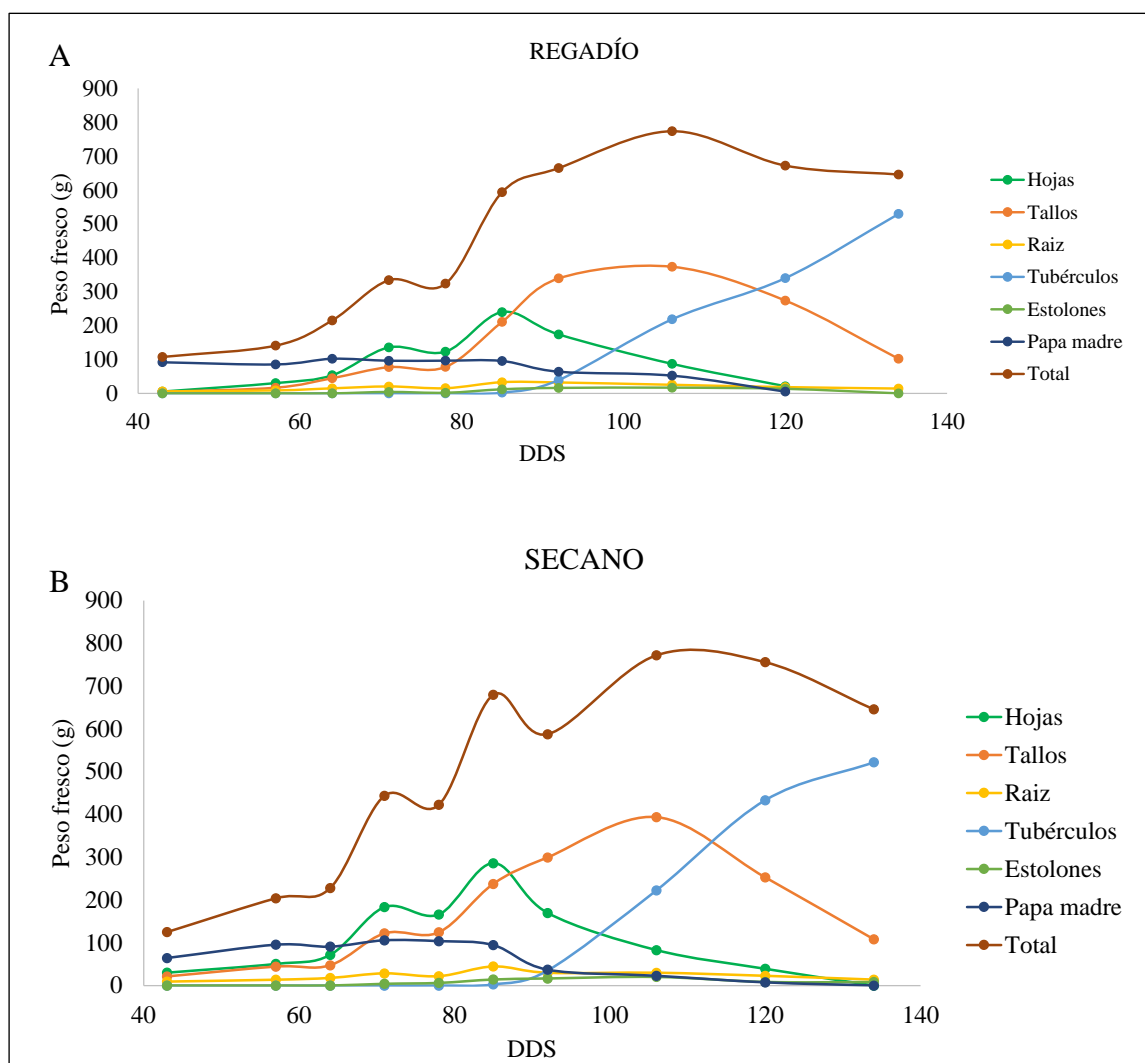


Figura 9. Curva de crecimiento de la biomasa de los órganos de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*: A) Regadío y B) Secano.

En la Figura 9, se muestra la dinámica temporal de la biomasa de los distintos comportamientos del cultivo para ambos tratamientos. Se observa el aumento del peso fresco de los diferentes órganos de papa durante el ciclo de cultivo. El crecimiento de la biomasa de hojas, tallos y raíz sigue una curva en forma de campana. La biomasa de hojas y raíces, alcanzan el máximo valor a los 85 DDS con 263.02 g y 38.8 g aproximadamente, después sufre una disminución, que ocurre simultáneamente con el inicio de llenado de los tubérculos. Además, se observa que tanto en Regadío y en Secano, a partir de los 85 DDS los tubérculos, tallos y biomasa total siguen en aumento, esto debido a que los fotoasimilados se concentran en la formación de los tubérculos. Además, en la biomasa total, hay tres picos de crecimiento alrededor del ciclo del cultivo a los 70, 85 y 105 DDS, siendo el pico más representativo a los 85 DDS, debido a la presencia de una alta

precipitación (24 mm) siendo una de las mayores en todo el ciclo del cultivo. La biomasa de todos los comportamientos fue mayor en secano en todos los muestreos. La producción final del tubérculo, expresado en peso fresco, fue de 529.62 g para el tratamiento en regadío y 521.87 g para el tratamiento en secano.

-Materia seca de los órganos en los tratamientos de Regadío y Secano

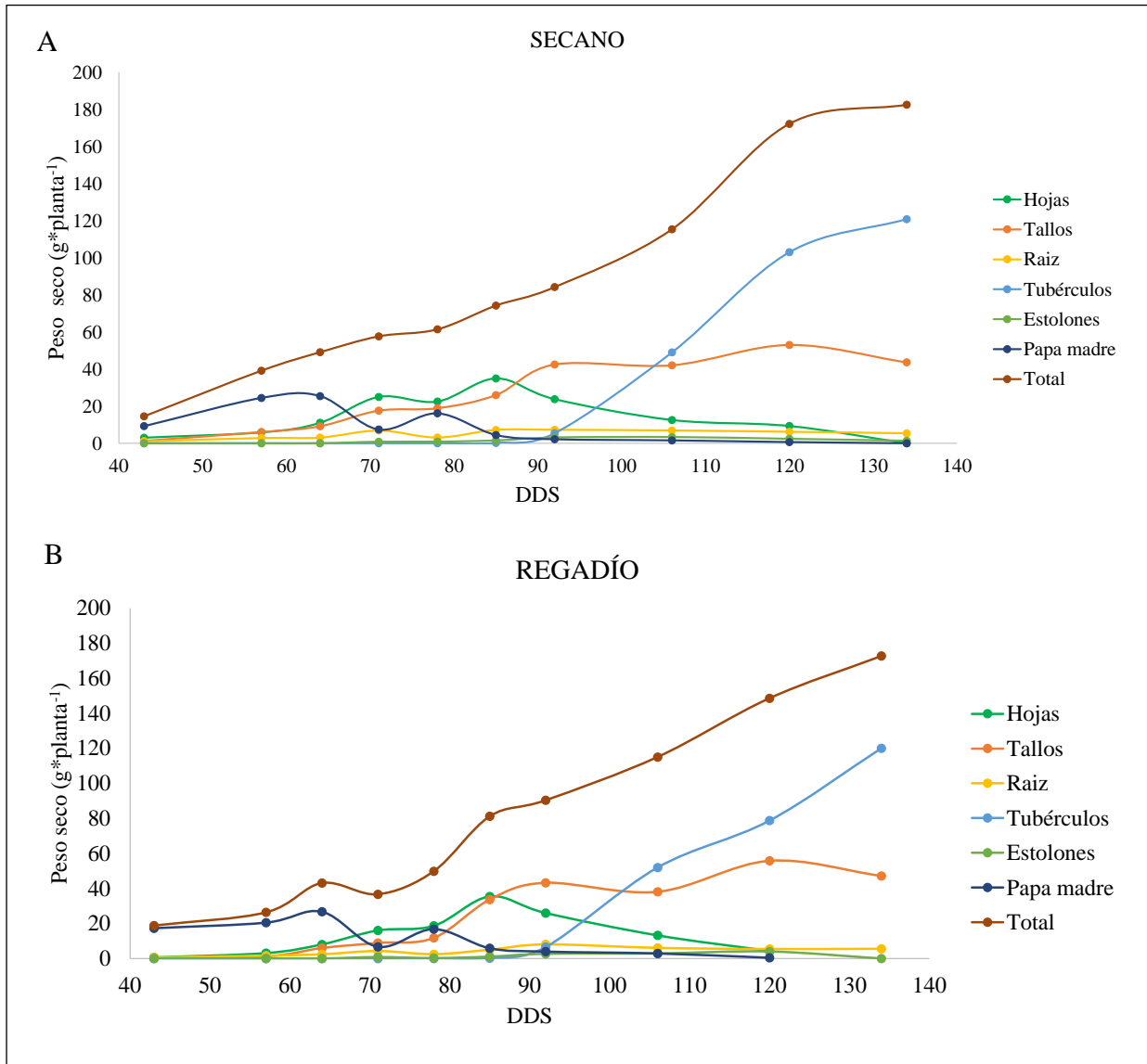


Figura 10. Materia seca ($g \cdot planta^{-1}$) de órganos de papa *Solanum tuberosum* subespecie andígena variedad *superchola*: A) Regadío y B) Secano.

En la Figura 10, se presenta el aumento de materia seca en los diferentes órganos de *Solanum tuberosum*, en donde se denotan patrones de crecimiento similares en los dos tratamientos, en los cuales se muestra el crecimiento exponencial de los tubérculos llegando a los DDS con pesos secos de 120.05 y 120.83 $g \cdot planta^{-1}$ para regadío y secano,

respectivamente. Cabe resaltar que el crecimiento total sigue un patrón determinado, es decir, continúa aumentando, no baja en los últimos días como en el peso fresco o biomasa.

4.3.3.2.1. Tasa de Crecimiento Relativa

En la Figura 11, se presentan los valores de la Tasa Relativa de Crecimiento donde en las hojas se obtuvieron valores altos a los 57 y 64 DDS con 0.09 y 0.14 ($g \cdot g^{-1} \cdot día^{-1}$) respectivamente. Los tubérculos presentaron los a los 85 y 92 DDS con 0.42 y 0.13 ($g \cdot g^{-1} \cdot día^{-1}$), respectivamente, observándose un crecimiento rápido entre los días 78 y 92 DDS y posteriormente un crecimiento lento.

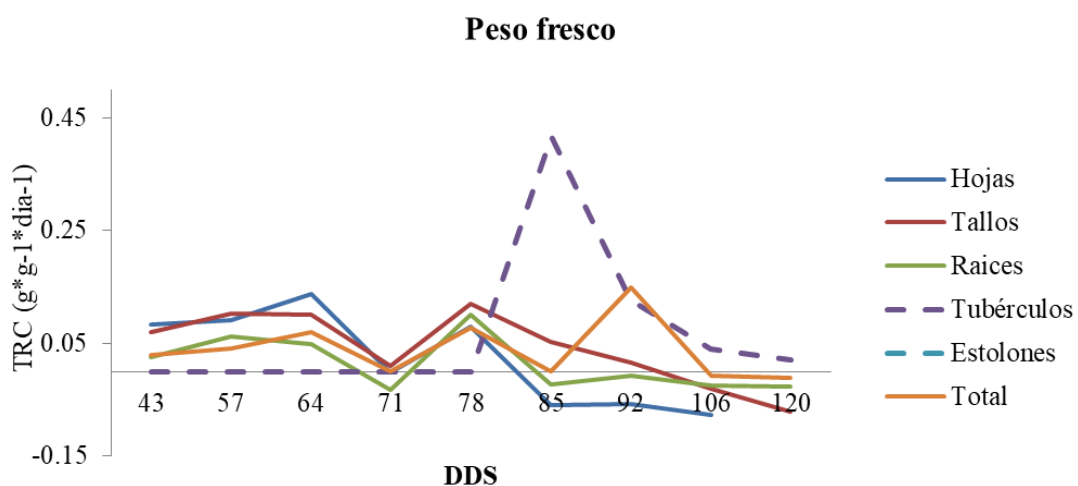


Figura 11. Tasa de Crecimiento relativa de los diferentes órganos de *Solanum tuberosum*.

4.3.3.3. Área foliar

Para calcular el área foliar del cultivo de papa, se utilizó una medida alométrica basada en un análisis de regresión con los datos de largo, ancho y área foliar de la hoja obtenidas mediante Photoshop. Se probaron diferentes modelos de regresión, cuyo mejor ajuste fue el modelo potencial con el largo de la hoja, teniendo un R2 de 0.95, n de 19 y p valor < 0.05. En la Figura 12, se muestra la ecuación y la curva de regresión ($AF = 0.0934 \cdot Largo^{2.3288}$).

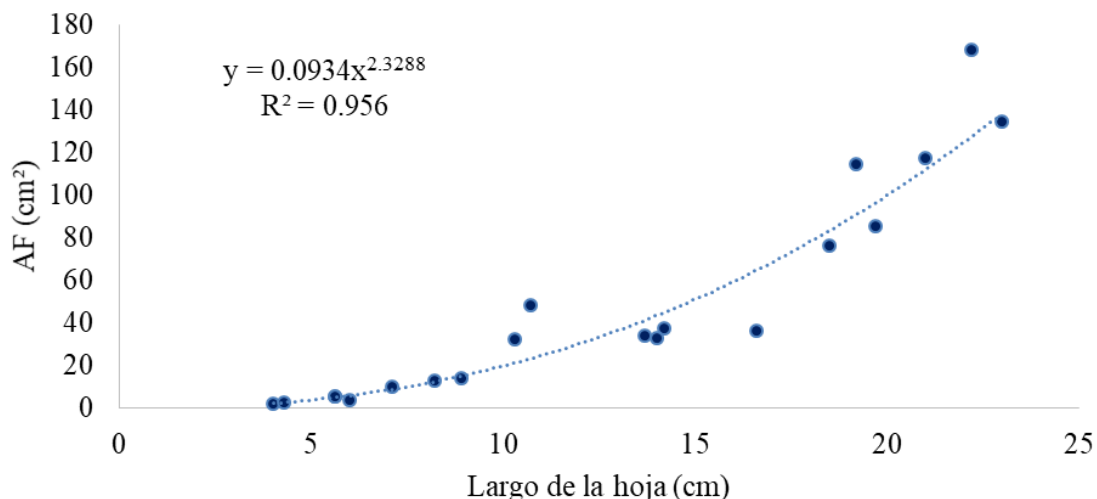


Figura 12. Área foliar en función del largo de la hoja de papa en diferentes estadios.

Tabla 8. Área foliar del cultivo de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*, en los tratamientos Regadío y Secano

| DDS | TRATAMIENTOS | | EEM | P-valor |
|-----|--------------|---------|--------|---------|
| | REGADÍO | SECANO | | |
| 43 | 20.55 | 26.36 | 108.41 | 0.96 |
| 57 | 343.21 | 324.49 | 91.06 | 0.84 |
| 64 | 556.24 | 630.66 | 103.01 | 0.47 |
| 71 | 1408.78 | 1542.78 | 128.42 | 0.30 |
| 78 | 1870.85 | 2034 | 135.99 | 0.24 |
| 85 | 2589.94 | 2565.17 | 124.26 | 0.84 |
| 92 | 2035.55 | 1883.44 | 163.93 | 0.36 |
| 106 | 1157.27 | 1105.06 | 172.67 | 0.76 |

La Tabla 8 presenta el área foliar correspondiente a cada evaluación, donde no se observan diferencias significativas entre los tratamientos, además se observa la máxima área foliar a los 85 DDS, para regadío 2589.94 cm² y para secano 2565.17 cm²

4.3.3.3.1. Relación área foliar y número de hojas

No se encontraron diferencias significativas en el área foliar y en el número de hojas entre los tratamientos Regadío y Secano durante el ciclo de cultivo (Figura 13 y 14). Al comparar el área foliar y número de hojas, en el tratamiento secano, se presentó un mayor número de hojas a los 106 DDS con un total de 59.5 y el tratamiento de regadío con un total de 51.62 hojas a los 106 DDS

En la Figura 13, se observa una relación positiva, la cual se expresa que a mayor número de hojas mayor es el área foliar, donde a partir de 85 DDS el área foliar disminuye no así el número de hojas. A partir de este día, existió la presencia de un mayor número de hoja pero de menor tamaño, llegando a una área foliar mayor de 2 589.94 cm²*planta a los 85 DDS, con un total de hojas de 51.62 a los 106DDS.

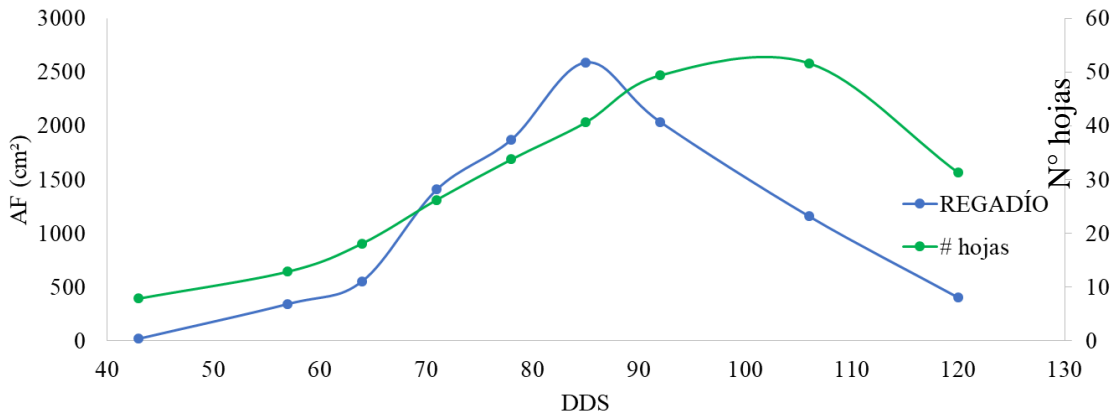


Figura 13. Relación del área foliar y el número de hojas según el tratamiento regadío.

En la Figura 14, se observa una relación positiva, la cual expresa que a mayor número de hojas mayor es el área foliar, en donde a partir de 85 DDS el área foliar disminuye no así el número de hojas. A partir de este día, existió la presencia de un mayor número de hoja pero de menor tamaño, llegando a una área foliar mayor de 2 565.17 cm²*planta a los 85 DDS y un total de hojas de 59.5 a los 106 DDS.

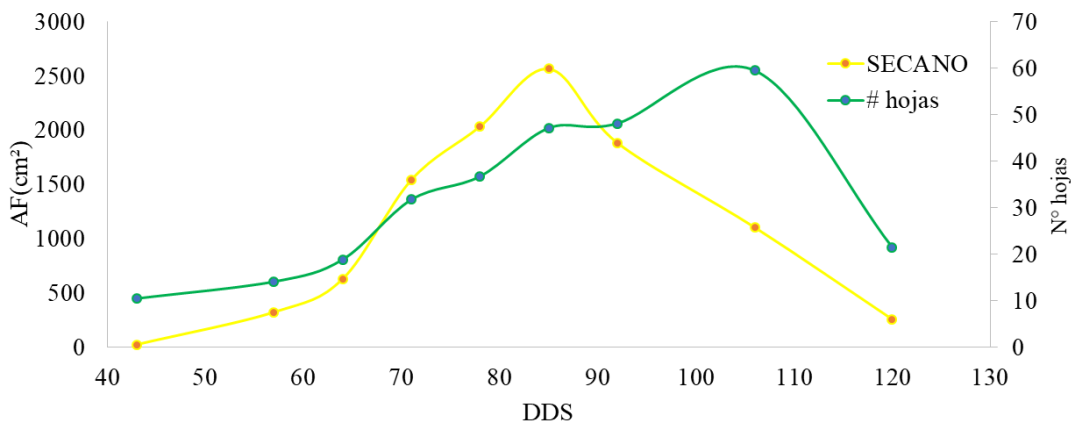


Figura 14. Relación del área foliar y el número de hojas según el tratamiento secano.

4.3.3.4. Correlaciones

Se correlacionaron todas las variables evaluadas (Anexo 3), y se destacaron las relaciones entre el área foliar y el peso de las hojas (fresco y seco), con un coeficiente de correlación de 0,89 en ambos casos y la relación entre el número de hojas y número de estolones, con un coeficiente de correlación de 0.794.

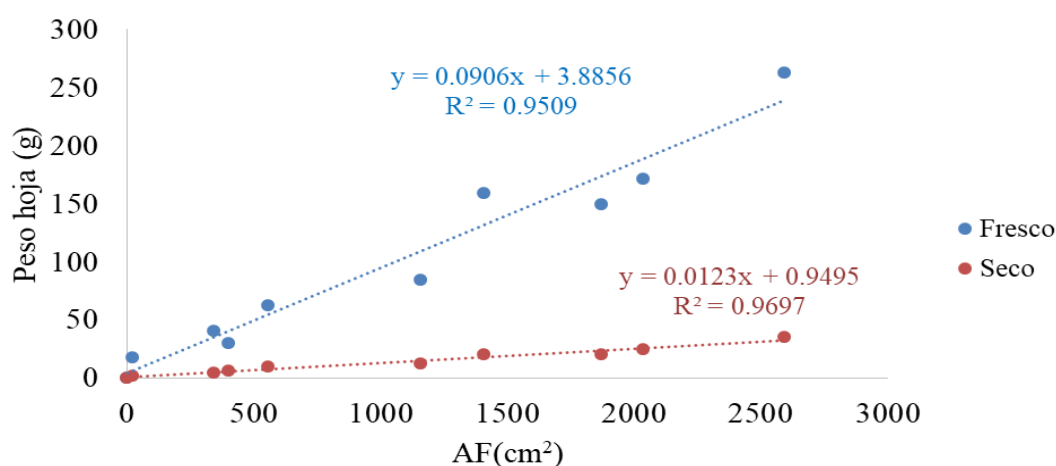


Figura 15. Regresión utilizando el AF para estimar el peso fresco y seco de las hojas.

En la Figura 15, se presenta la ecuación que nos permitirá estimar el peso fresco y seco de las hojas a partir del AF, como un método no destructivo al igual que la determinación del AF, en el cual presentan un R^2 de 0.95 y 0.96 para fresco y seco, respectivamente.

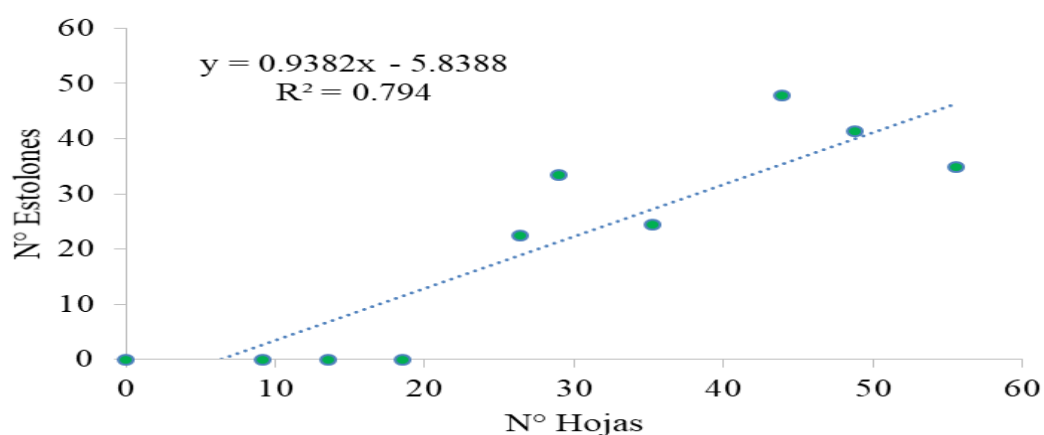


Figura 16. Regresión lineal números de hojas y número de estolones.

En la Figura 16, se presenta la ecuación que nos permitirá predecir el número de estolones por planta a partir del número de hojas, como un método no destructivo, el cual presenta un R^2 de 0.794.

4.4. Rendimientos

4.4.1. Características de la semilla

Los diámetros longitudinal y ecuatorial de las papa semilla (tubérculos) utilizadas en la presente tesis, presentaron promedios de 4.3 cm y 3.8 cm respectivamente, a diferencia de los tubérculos cosechados, que presentaron promedios mayores como 5.95 cm y 4.5 cm respectivamente, observándose diferencias significativas (Anexo 1).

4.4.2. Rendimiento

En la Figura 17, se observa el rendimiento del cultivo de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*, no existiendo diferencias significativas entre los dos tratamientos, con una media de 6.33 y 5.69 t ha⁻¹ en regadío y secano, respectivamente, con un error estándar de 0.71.

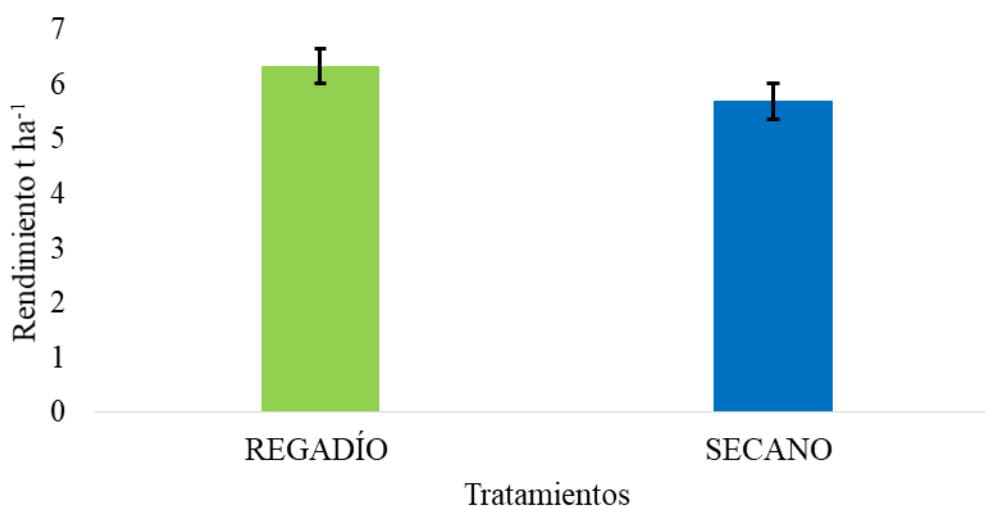


Figura 17. Rendimiento de papa en los tratamientos de Regadío y secano.

4.5. Calibración del modelo DSSAT – SUBSTOR-Potato

4.5.1. Base de datos suelo

En la Tabla 9, 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 120 cm. Además, se encontraron valores muy bajos de CO y MO de 0.64 y 1.21, respectivamente, en los primeros 18 cm de profundidad. El Anexo 4 contiene la base de datos correspondiente al suelo en el formato DDSAT.

Tabla 9 Características física – químicas del perfil del suelo en La Quinta experimental La Argelia.

| Profundidad | % Ar | % Lo | %Ac | CO | MO | Textura | Color del suelo |
|--------------------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|----------------|------------------------|
| 0-18 cm | 24.36 | 54.00 | 21.64 | 0.64 | 1.21 | Franco limoso | Gris marrón |
| 19-42 cm | 34.72 | 47.64 | 17.64 | 0.25 | 0.48 | Franco | marrón oliva claro |
| 43 -87 cm | 36.72 | 45.64 | 17.64 | 0.25 | 0.48 | Franco | marrón oliva claro |
| 88-120 cm | 38.36 | 49.64 | 12.00 | 0.06 | 0.12 | Franco | marrón oliva |

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

Tabla 10. 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 (% Humedad a 15 atm.) | Densidad Aparente (g/cm³) |
|--------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------------|---|
| 0-18 cm | 27.0 | 24.6 | 19.9 | 5.7 | 1.6 |
| 19-42 cm | 25.2 | 23.9 | 20.3 | 6.4 | 1.6 |
| 43 -87 cm | 33.1 | 29.0 | 23.4 | 8.1 | 1.4 |
| 88-120 cm | 19.8 | 15.0 | 10.5 | 3.2 | 1.8 |

PMP: Punto de marchitez permanente.

En la Tabla 10, 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/cm³ en los horizontes superficiales. Mientras que, a los 1.20 cm de profundidad, aumenta a 1.8 g/cm³. Cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación afectando las condiciones de retención de humedad.

4.5.2. Base de datos de clima

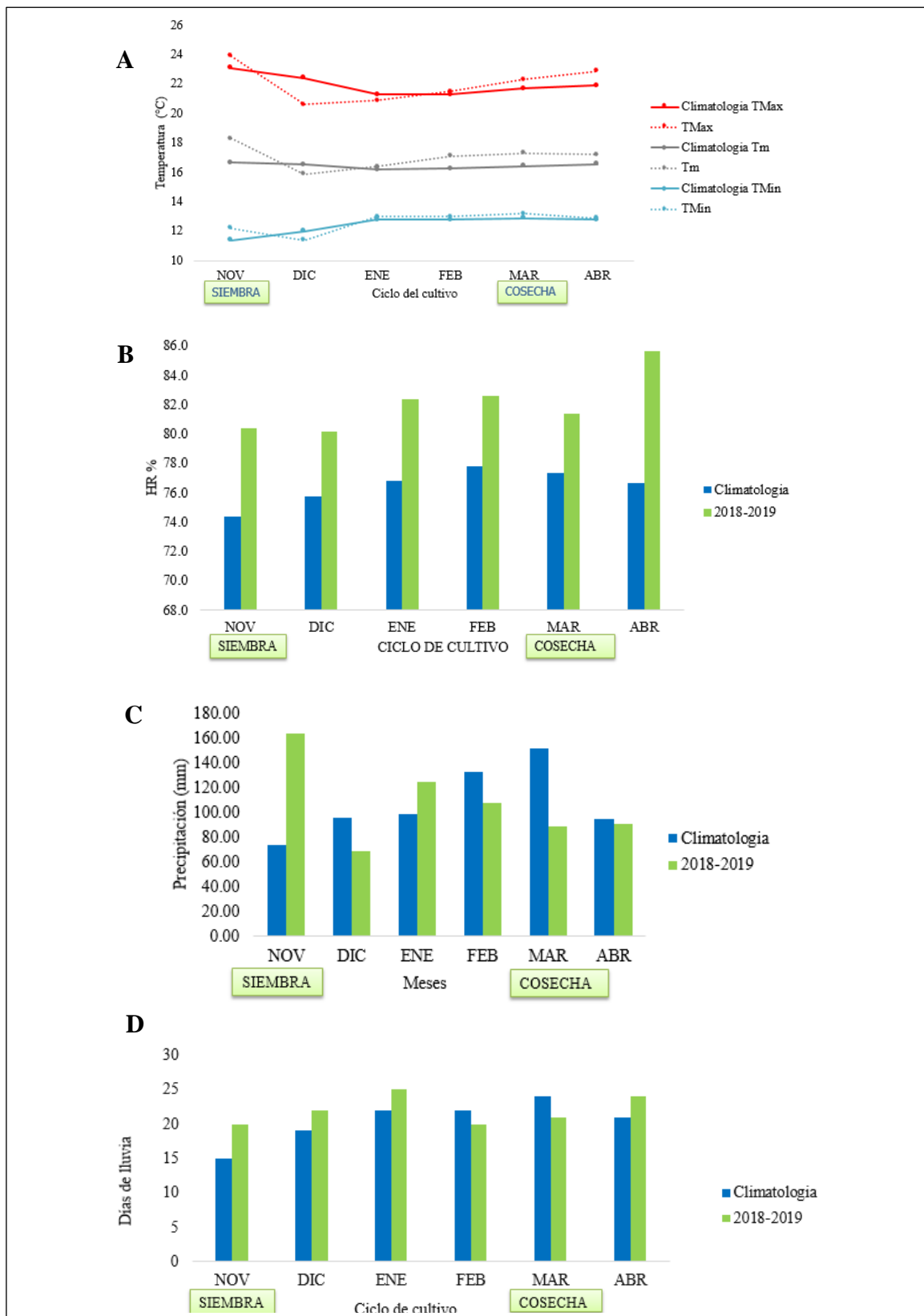


Figura 18. Variables climáticas en la estación meteorológica La Argelia: A) Temperatura máxima, media y mínima (Tmax, Tm y Tmin respectivamente); B) Humedad relativa (HR); C) Precipitación y D) Número de días con precipitación. Los valores climatológicos son promedios de 25 años atrás.

4.5.3. Base de datos cultivo y calibración

Ante el déficit de lluvias al inicio del cultivo, se instalaron dos tensiómetros que permitieron identificar las épocas críticas para el riego, correspondiendo a los 7, 15 y 28 DDS, donde se regaron 15 mm en total (Ver anexo 6 y 8). El manejo del cultivo constó de una fertilización base utilizando humus a la siembra en una dosis de 50 g por planta, a los 48 DDS se aplicó 10-30-10 a razón de 50 g por planta, y para el control de plagas (*Coccinellidae* y *Empoasca kraemeri*), se aplicó INSECTOR utilizando 30 ml por bomba de 20 litros. El control de malas hierbas se hizo manualmente con lampas.

La calibración se realizó utilizando un conjunto de cinco coeficientes genéticos del cultivo de papa, con los datos del tratamiento en seco, y el manejo indicado en el (Anexo 7). En esta etapa, se dio especial importancia al rendimiento (biomasa del tubérculo) y las fases fenológicas.

Los coeficientes genéticos que permitieron un mejor ajuste entre los datos simulados y los medidos del cultivar de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola* se encuentran en la Tabla 11.

Tabla 11. Coeficientes genéticos obtenidos para el cultivo de papa *Solanum tuberosum* subespecie *andígena* variedad *superchola*.

| Variedad | G2 | G3 | PD | P2 | TC |
|-------------------|-----|----|------|-----|----|
| <i>Superchola</i> | 100 | 10 | 0.25 | 0.4 | 11 |

G2: Tasa de expansión foliar en grados días, G3: tasa de crecimiento potencial de los tubérculos, PD: reducción del crecimiento de los tubérculos después de la inducción de la tuberización, P2: respuesta al fotoperíodo de la iniciación de la tuberización, TC: temperatura crítica para la iniciación de la tuberización.

Usando los coeficientes genéticos mencionados, se obtuvo una simulación satisfactoria para el rendimiento (biomasa del tubérculo) y la fecha de floración, con desviaciones menores al 1 % entre los valores observados y simulados. Sin embargo, para la fecha de tuberización la diferencia entre los valores observados y simulados resultó considerablemente menor, simulándose un 14.5 % menos (Tabla 12).

Tabla 12. Comparación entre los valores observados y simulados en el tratamiento de seco con el modelo de simulación de cultivos SUBSTOR-Potato.

| Variable | Observado | Simulado | Diferencia | % Bias |
|---|--------------------|--------------------|------------|--------|
| Rendimiento (kg ha⁻¹) | 5 720.0 | 5 765.0 | -45 | 0.78 |
| Fecha-floración (DDS) | 19/01/2019 (74) | 19/01/2019 (74) | 0 | 0 |

| | | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|----|------|
| Fecha-tuberización (DDS) | 30/01/2019 (85) | 19/01/2019 (74) | 11 | 14.5 |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|----|------|

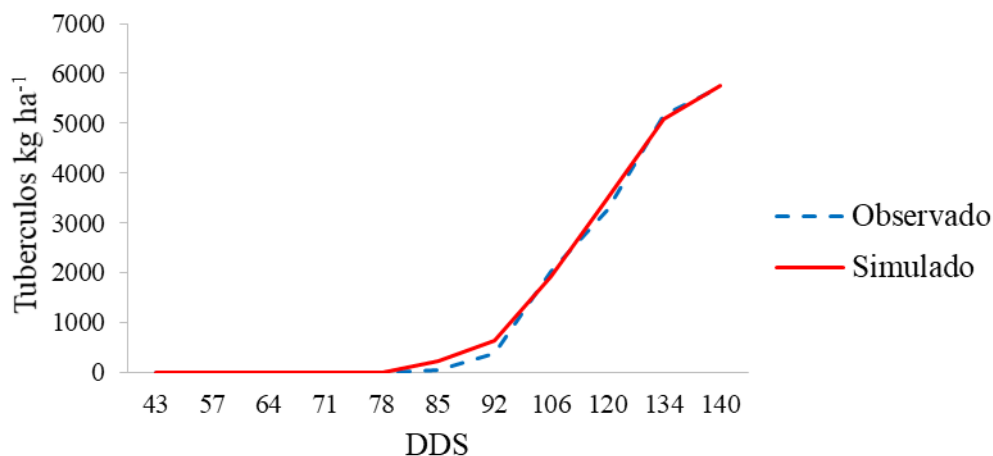


Figura 19. Valores observados y simulados del peso de los tubérculos

En la Figura 19, se observa el peso de los tubérculos desde los 43 hasta los 140 DDS, donde al comparar los datos observados y los simulados, no se observan diferencias significativas hasta el 120 DDS donde aparecen las diferencias

5. DISCUSIÓN

Para la siembra, se utilizaron tubérculos de un promedio de 44.30 g, lo cual concuerda con Arismendi (2002), que reporta el uso de tubérculos de un peso promedio de 45 g. Sin embargo, el peso promedio de los tubérculos fue ligeramente inferior al reportado por INIAP, (2011) y Montesdeoca, (2005), quienes mencionan que el tubérculo semilla, debe ser de tamaño mediano entre 4.5 y 5.5 cm de diámetro y de 50 a 60 g de peso para obtener una buena emergencia de plantas en la variedad *superchola*.

La emergencia, tanto en riego como en seco se presentó a los 24 y 34 DDS, respectivamente, siendo valores superiores a los reportados por Sifuentes, (2006) y Solano, (2018), quienes mencionan que la emergencia del tubérculo de papa variedad *superchola* es de 15 a 20 y entre los 20- 23 días DDS, respectivamente. Diferencias en la emergencia en los tratamientos de regadío y seco puede deberse a factores como suministro de agua (humedad), aireación del suelo, calidad del tubérculo semilla, entre otros Egúsqiza, (2000). En regadío, la temperatura y humedad de la capa superficial del suelo es superior a la de seco, contribuyendo a una menor resistencia mecánica del suelo a la aparición de brotes. Además, García-Tejera, (2016) menciona que existe un menor crecimiento de los cultivos cuando están sometidos a bajas temperaturas del suelo, debido a la reducción de la capacidad de absorción del sistema radical. Para asegurar la tuberización de *Solanum tuberosum*, se necesitan temperaturas bajas, por consiguiente en el periodo 2018-2019 se presentaron temperaturas mínimas comprendidas entre 10.8 y 13.0 °C, lo que concuerda con Arismendi, (2002) quien manifiesta que las bajas temperaturas favorecen la tuberización y garantiza la cosecha en época seca.

En la investigación, se reportó la floración del 60 % de las plantas evaluada a los 78 DDS en los tratamientos de riego y seco, datos diferentes a los reportados por González y Cáceres, (2015), que encontró un 60 % de floración de la variedad *superchola* a los 38 DDS, Sin embargo, Caicedo y Jijón, (2016), encontraron el 100 % de la floración a los 109 y 113 DDS. Mientras que en la presente investigación se presentó a los 95 y 116 DDS en riego y seco, respectivamente.

La cosecha de papa tuvo efecto a los 140 DDS cultivado a 2 138 m.s.n.m. la cual es menor a lo reportado por Solano, (2018) quien encontró que la etapa fisiológica de madurez llegó a los 172 días donde se cosecharon los tubérculos de variedad *superchola*, a una altura de 2 503 m.s.n.m. Por otra parte, Montesdeoca, (2015) y Casa *et al.*, (2005), obtuvieron

cosechas entre los 155 y 175 DDS respectivamente. Sin embargo, Rubio, (2015) y Garzón, (2014), mencionan que el periodo de senescencia de la variedad *superchola* a 3 250 msnm es a los 169 días, y entre los 155 y 183, días respectivamente. Las diferencias en la etapa de madurez fisiológica dependen de la altitud y de características propias del lugar donde se realizó el cultivo.

Durante el ciclo de cultivo de papa, se presentó una precipitación de 556 mm, datos que son menores a los reportados por Muñoz y Cruz (1984), quienes mencionan que un cultivo de papa localizado a 3000 msnm necesita entre 600 y 700 mm de precipitación distribuida en forma más o menos uniforme a lo largo del ciclo vegetativo. Según la FAO (2019), para cultivos de altos rendimientos de papa, los requerimientos de agua para un cultivo de 120 a 150 días son de 500 a 700 mm, dependiendo del clima. Cabe mencionar que, en el tratamiento bajo regadío, se aplicó 15 mm en las primeras etapas del ciclo del cultivo (noviembre-enero), considerando que el agua total disponible del suelo no se agotará en más del 50%. A partir de enero, se suspendió el riego debido a las altas precipitaciones que se presentaron. En este estudio, no se encontraron diferencias significativas en cuanto a crecimiento del cultivo, sin embargo, los valores de altura, biomasa y peso seco fueron superiores bajo regadío que en secano. Estos resultados concuerdan con González y Cáceres, (2015), quienes al someter al cultivo de papa *superchola* a riego por goteo en épocas secas y fertilización obtuvieron un rendimiento de 7.94 t ha⁻¹, y menores a los reportados por Rubio, (2015), quien menciona que al someter al cultivo a riego en la siembra épocas de escases obtuvo un rendimiento de 44 t ha⁻¹.

En cuanto a la integral térmica, se determinó que en regadío se necesitó 1 401.56 °C acumulados para llegar a la madurez fisiología o madurez de cosecha mientras que en secano un total de 1 397.93 °C acumulados. Sin embargo, estos valores son menores a los reportados por Flores *et al.*, (2014) quien en su investigación necesitó 2 100 °C para llegar a madurez fisiológica, mientras que Sifuentes *et al.*, (2006) y Sifuentes *et al.*, (2013), determinaron que la integral térmica fluctúa entre 2 100 °D y 2 200 °D para la madurez fisiológica y cosecha respectivamente.

Qadir *et al.*, (2006) asegura que, aunque la acumulación de grados-día para las diferentes etapas de desarrollo es relativamente constante e independiente de la fecha de siembra, cada híbrido, variedad o cultivar de la especie, puede tener valores específicos para estos parámetros. Es así como la dinámica del desarrollo vegetal está determinada en parte por

el clima y, entre los elementos climáticos que mayor influencia tienen sobre el crecimiento y el desarrollo de los cultivos se encuentran la temperatura y el fotoperiodo (Porter, 1988).

En lo que respecta a la altura, a los 90 DDS se reportó una altura promedio de 92.32 cm en regadío y 86.34 cm para secano, datos que son superiores a los reportados por Pinango, (2016) y Solano, (2018). Pinango, (2016), manifiesta en su investigación realizada en el Cantón Cayambe a 3 047 m.s.n.m. una altura promedio de 78 cm con semilla básica de *superchola*, mientras que Solano, (2018) encontró plantas entre 72.61 y 76.79 cm de altura. Sin embargo, son datos inferiores a los reportados por Cevallos, (2013), quien reporta una altura promedio de 109.50 cm a los 90 DDS realizado en Cotopaxi.

Se determinó el número de tallos con una media de 3.75 los mismo que son similares a los reportados por Oyarzún *et al.*, (2001), quien señala que el número de tallos por planta pueden variar según la semilla, variedad, número de brotes y métodos de siembra, reportando un promedio entre 4.5 tallos/planta.

En cuanto al número de tubérculos encontrados en la investigación, se obtuvo un promedio de 31.13 tubérculos/planta, valor superior a lo reportados por Rubio (2015), quien indica que el número de tubérculos de la papa variedad *superchola* es de 20 a 25 por planta. Esta diferencia puede atribuirse a la calidad de semilla utilizada. Así mismo, Estrada, (1994) menciona que el número de tubérculos esta genéticamente determinado en cada variedad, con un promedio de 20 a 25 tubérculos por planta.

El rendimiento de *Solanum tuberosum* fue de 0.36 kg/planta, valor menor a los reportado por Realpe, (2010), quien encontró un rendimiento de 1.24 kg/planta, lo cual corrobora con lo planteado por Montesdeoca, (2005), quien manifiesta que la calidad de semilla de papa determinará el éxito o fracaso de la actividad productiva, donde propiciará un bajo o alto potencial de rendimiento. Sin embargo, los datos obtenidos en la presente investigación (5.72 t ha⁻¹) son mayores a la media local 3.9 t ha⁻¹ y menor a la media nacional de 18.9 t ha⁻¹(INEC, 2018).

Al emplear en el análisis de regresión, como variable independiente, el producto de las medidas lineales de las hojas (largo) en la variedad *superchola* se obtuvo un coeficientes de determinación $r^2 = 0.956$, ajustándose con una regresión exponencial. Estudios previos han usado ecuaciones de regresión para la estimación de la superficie foliar en otras

variedades de papa como Call White y Santana (regresión lineal de 0.93 y 0.91, respectivamente), e incluso fueron aplicados en varios cultivos (Astegiano *et al.*, 2001), Goenaga y Singh, (1996) y Fargo *et al.*, (1986). De esta manera las ecuaciones de regresión encontradas se ajustan de manera precisa para la estimación indirecta de la superficie foliar en plantas de papa, tomando como variables de entrada el largo y el ancho de las hojas, lo cual se ha comprobado en otras especies (Tsialtas, 2007; Casierra, 2008), a la vez que su empleo también ha posibilitado la determinación del índice de área foliar (Blanco y Folegatti, 2003).

La producción de materia seca está relacionada con el área foliar, por lo tanto, cuando esta última es alta se espera una alta acumulación de materia seca. La máxima área foliar se observó a los 85 DDS (7 días después de iniciada la tuberización), con 2589.94 cm² en regadío y 2565.17 cm² en secano, valores superiores a los reportados por López y Alvarado, (1997), quienes encontraron a los 84 DDS un área foliar de 1435.24 cm² en *Solanum tuberosum* ssp *andigena* variedad Parda Pastusa. En el caso de esta investigación, el máximo IAF (1.54 m²/m²) coincidió con las etapas fenológicas de floración y tuberización, tal como lo menciona Gómez *et al.*, (1999), indicando que después de esta etapa fenológica el IAF comenzó a decrecer hasta alcanzar los valores mínimos a los 120 y 140 DDS. Santos *et al.*, (2010) determinó que la variedad Pastusa Suprema presentó en forma consistente el mayor IAF durante el ciclo del cultivo (2.87 m²/m²), seguida por la variedad Esmeralda con un valor de 2.51 m²/m². Los menores IAF durante el ciclo de cultivo fueron obtenidos por las variedades Betina y Diacol Capiro (1.53 m²/m² y 1.55 m²/m²), respectivamente. De Oliveira *et al.*, (2000) reportó valores máximos de TRC entre 1.05 y 1.75 g*g⁻¹*semana⁻¹ (bajo diferentes láminas de riego), superando los valores máximos obtenidos por la subespecie *andígena* variedad de *superchola* incluidas en el presente estudio, ya que el valor más alto alcanzado fue de 0.7 y 0.98 g*g⁻¹.semana⁻¹ en los dos tratamientos. Estos resultados permiten deducir que la variedad *superchola* evaluada en esta investigación (ciclo de 140 días) presenta menor incremento de materia seca por unidad de tiempo, en relación a la variedad Aracy que es más precoz (ciclo de 90 a 100 días). Sin embargo, Gaitán y González, (1999) encontraron valores máximos de TRC en las variedades ICA Zipa, ICA Única, ICA Morita y Diacol Monserrate entre 0.45 y 0.7 g*g⁻¹.semana⁻¹, los cuales son inferiores a los obtenidos en este estudio. Santos *et al.*, (2010) encontró valores que oscilaron entre 0.8 y 0.9 g*g⁻¹.

¹*semana⁻¹ presentando una similar acumulación de materia seca por unidad de tiempo en relación al peso inicial a las reportadas en este estudio.

Los coeficientes obtenidos en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato, para la variedad de papa *superchola* fueron: 100, 10.0, 0.25, 0.4 y 11 que corresponden a G2, G3, PD, P2 y TC, respectivamente; los valores de G2 (tasa de desarrollo del área foliar) y G3 (tasa de crecimiento del tubérculo) difieren substancialmente de los reportados para la subespecie *tuberosum* en condiciones de clima templado, lo que pudiera ser debido a diferencias en el patrón de crecimiento de esta subespecie o al efecto del clima Sarmiento y Bowen, (2002), al calibrar el modelo SUBSTOR para la variedad Andígena Arbolana encontraron valores de 200, 43.0, 0.1, 0.1 y 4.1. Los coeficientes PD (reducción del crecimiento de los tubérculos después de la inducción de la tuberización), P2 (respuesta al fotoperíodo de la iniciación de la tuberización) y TC (temperatura crítica para la iniciación de la tuberización).

Los coeficientes genéticos obtenidos en el presente estudio son totalmente diferentes a los obtenidos para otras variedades de papa (Forero y Garzon, 2000). Abdrabbo, (2010), utilizó el módulo SUBSTOR de DSSAT para simular procesos fisiológicos y de rendimiento del cultivo de papa ante escenarios de cambio climático. Para este fin, tomó las salidas de dos modelos de circulación general (CSIRO y HadCM3), y el escenario de emisiones A1, para el año 2050 usando cuatro niveles de irrigación. El módulo SUBSTOR indicó disminuciones del rendimiento entre 11% y 13% en promedio respecto a las simulaciones de 2005 y diferencias en la respuesta de las dos variedades frente a los niveles de la irrigación.

En la presente investigación, al realizar la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato, se pudo observar que las variables que mostraron mejor ajuste fueron rendimiento, fecha de floración en secano, fecha de tuberización y crecimiento del tubérculo. Sin embargo, el modelo SUBSTOR-Potato no mostró diferencias al usar un manejo en regadío, dando como resultado las variables rendimiento y fenología similares a la del secano. Esto pudo deberse a que el ciclo del cultivo 2018-2019 fue muy lluvioso, lo que no permitió detectar diferencias significativas. Ante esto, el modelo puede ser mejorado con respecto al balance hídrico mediante la ejecución de ensayos en una estación seca para evaluarlo en condiciones de riego.

Durante la calibración del modelo, se mostraron diferencias mínimas entre los datos simulados y los observados en campo. La variable que mostró el mejor ajuste fue el rendimiento fresco, seguida del número de días hasta tuberización y hasta la madurez fisiológica.

Según Méndez *et al.*, (2012), el modelo DSSAT simula mejor las condiciones de requerimiento hídrico de la planta que AquaCrop para un experimento específico realizado para el cultivo de papa. El modelo AquaCrop inhabilita drásticamente el déficit hídrico, debido a que este modelo está en función del agua disponible y DSSAT está en función de la radiación y temperatura. De esta manera, el modelo DSSAT es útil para hacer balance de nutrientes, y así generar un calendario de aplicación y dosificación de fertilizantes. Además, estas propiedades, permiten definir zonas agroclimáticas en base a su radiación y temperatura.

El modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBTOR-POTATO permitirá predecir épocas de siembra, fechas de floración y tuberización, lo cual ayudará a asegurar la producción, dependiendo del clima, suelo y manejo del cultivo, asegurando los recursos económicos de los agricultores y su familia. En base a las predicciones, es posible tomar las medidas necesarias ante los efectos del cambio climático, manteniendo el rendimiento, asegurando así la soberanía alimentaria. Con la utilización del modelo de simulación de cultivos es posible recomendar la variedad a utilizar dependiendo de cada zona, clima y fisiografía. Se deberá socializar los resultados, exponiendo ventajas y desventajas del uso de los modelos de simulación de cultivos, con el fin de su utilización por pequeños y medianos productores.

6. CONCLUSIONES

- La fenología del cultivo de papa, en secano y regadío, mostró diferencias en días en las fases de emergencia y tuberización, sin embargo, éstas no fueron significativas, mostrando una compensación en la floración a los 74 DDS. La integral térmica del cultivo en secano fue 3.63°C más que en el regadío para llegar a la madurez fisiológica o cosecha.
En relación al crecimiento, no se encontraron diferencias en el desarrollo de la biomasa, materia seca y área foliar en los tratamientos de regadío y secano; no así en la altura encontrándose diferencias significativas a los 51 y 58 después de la siembra para el cultivo bajo riego que alcanzan la mejor altura.
- Los rendimientos obtenidos en los tratamientos de secano (5.69 t ha^{-1}) y regadío (6.33 t ha^{-1}) no presentaron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, estas son mayores a la media local (3.0 t ha^{-1}), pero menores a la media nacional (18.9 t ha^{-1}).
- La calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBTOR-Potato tuvo un mejor ajuste en las variables de rendimiento, crecimiento del tubérculo y fenología, por lo que podría constituirse en un sistema de apoyo a las decisiones de los agricultores.

7. RECOMENDACIONES

- Establecer ensayos similares en épocas secas para evaluar el comportamiento del cultivo y del modelo bajo estrés hídrico.
- Seguir realizando investigaciones en esta línea con el fin de contar con una base de datos del clima de años anteriores, suelo y manejo (fertilización, riego, fechas y densidades de siembra, etc.) que pueda ayudar a la validación del modelo de simulación de cultivos, y sea aplicado para la estimación de rendimientos agrícolas, lo que contribuiría a la adaptación temprana de los sistemas de cultivo y a una mejora en la gestión del riesgos.
- Realizar investigaciones en diferentes sectores y épocas del año con el fin de recabar información que permita socializar resultados con productores para su aplicabilidad en los diferentes cultivos, como una alternativa de poder asegurar la producción y réditos económicos; aunque si bien es cierto, el modelo no considera los aspectos culturales y sociales, principalmente.
- Considerar como una iniciativa para la aplicabilidad de software informático en producciones agrícolas permitiendo reducir pérdidas de producción y ayuda a la sociedad mediante su aplicación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abdrabbo, M. Farag, A. Hassanein, M. y Abou-Hadid, A. (2010). Water consumption of eggplant under different microclimate. *J. Biol. Chem. Environ. Sci.*, 5(3):239-255
- Aguirre, C. Valdez, J. Ángeles, G. y de los Santos, H. (2011). Mapeo del Índice de Área Foliar y cobertura Arborea mediante Fotografías Hemisférica y Datos SPOT5 HRG; Regresión y K-NN. *Agrociencia*. 45:105-119.
- Alonso, J. L., Redepapa. (2014). Obtenido de <https://medium.com/@redepapa/la-papa-y-el-cambio-climatico-fc70e4956052>.
- Álvarez, M. G. (2013). Mi Riego. Recuperado el 31 de 07 de 2018, Disponible en <https://miriego-blog.com/2013/12/11/modelo-de-integral-termica/>
- Andrade-Piedra, J. R. International Potato Center. Obtenido de Memorias del IV Congreso Ecuatoriano de la Papa 28 al 30 de Junio 2011: .(2012). Disponible en: https://cipotato.org/press_room/blogs/iv-congreso-ecuatoriano-de-la-papa/
- Arismendi, L. (2002). Investigación el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Oriente de Venezuela. Departamento de Agronomía. Escuela de Ingeniería Agronómica. Núcleo de Monjas . Universidad de Oriente. Maturín. 6201. Estado de Monagas. *Campus Universitario Los Guaritos*. Av. Universidad.
- Astegiano, E. D.; Favaro, J. C. y Bouzo, C. A. (2001). Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) utilizando medidas foliares lineales. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.*, , vol. 16, p. 249-256.
- Blanco, F. F. y Folegatti, M. V. A. (2003). New method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, vol. 21, no. 4, p. 666-669.
- Caicedo, W., Jijón D. (2016). Incidencia de la densidad de siembra en la producción de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad "superchola" en el sistema eropónico. pp. 1-7
- Casa, P., Tenorio, F., y Cuesta, X. (2005). Evaluación Agronómica y resistencia al tizón tardío de doce clones primos de la papa. Simposio llevado a cabo en el II congreso nacional de la papa, Quito, Ecuador.
- Casierra, F.; Peña, G. R. y Peña, J. E. (2008). Estimación indirecta del área foliar en *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana* (Berg.) Burret, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey y *Ficus carica* L. *Rev. U.D.C.A. Actualidad Científica*. vol. 11, no. 1, p. 95-102.

- Cevallos, M. (2013). Comportamiento agronómico de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad superchola con la aplicación de tres tipos de abonos orgánicos en el Cantón Latacunga. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- CIPOTATO. INTERNATIONAL POTATO CENTER. (2018). Obtenido de <https://cipotato.org/es/potato/>
- Cisneros, F. H., AgriFood Gateway Horticulture International. Obtenido de NC STATE UNIVERSITY CALS International Programs. 2010. Disponible en <https://hortintl.cals.ncsu.edu/es/content/conceptos-sobre-rendimientos>
- CORPOICA. (2010). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Preguntas frecuentes sobre el cultivo de la papa. [Online]http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/libreria/verlibro.asp?id_libro=9
- Cortés, C. A. (2013). Uso del modelo aquacrop para estimar rendimientos para el cultivo de papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Colombia.
- Cucás, X. L. (2010) Producción y comercialización de la papa y su incidencia en el desarrollo socio económico de la parroquia de julio andrade en la provincia del carchi durante el año 2008-2009". Ibarra-Ecuador.
- De Oliveira, A., J.D. Rodrigues e S.Z. De Pinho. (2000). Análise de crescimento na cultura da batata submetida a diferentes lâminas de irrigação. Pesquisa Agropecuária Brasileira 35(5): 901-907.
- Egúzquiza, R. (2013). La Papa: *Producción, Transformación y Comercialización*. Prerensa e impresión CIMAGRAF S.R.L. Disponible en URL: http://www.sepor.cl/informacion_boletines/S106_Boletin_Coeficiente_de_cultivo.pdf (Consultado 18 de julio de 2019).
- Estrada, N. (1994). Taxonomía, Genética y Mejoramiento de la Papa. Manual sobre manejo de germoplasma de la Papa, pag 3-39.
- Evans, L y Fischer, R. (2011) Potencial de rendimiento: su definición, medida y significado. Crop Sci. 39: 1544-1551. doi: 10.2135 / cropsci1999.3961544x. 1999.
- Fabien. Actualitix. (2016). Obtenido de <https://es.actualitix.com/pais/amsu/america-del-sur-papa-produccion.php>
- FARGO W.S., BONJOUR E.L., WAGNER T.L., (1986). An estimation equation for squash leaf area using leaf measurements. Can. J. Plant Sci. 66, 677-682.

- FAO, Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2019). Potato: water requirements. Disponible en: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/potato/en/>. Consultado: 1 de agosto de 2019.”
- Flores, H., Flores, H. & Ojeda, Waldo. (2014). Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(2), 149-157. Consultado el 26 de junio de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000200006&lng=es&tlng=es
- Flores-Magdaleno, Héctor, Flores-Gallardo, Hilario, & Ojeda-Bustamante, Waldo. (2014). Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(2), pp.149-157. Recuperado en 26 de junio de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000200006&lng=es&tlng=es.
- Forero, D. y Garzón E. (2000). Validación del modelo de simulación de del Modelo de Simulación de Crecimiento SUBSTOR-potato V.35 para cuatro variedades mejoradas de papa (*Solanum tuberosum* ssp. andigena) bajo Condiciones de Cultivo Comercial. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia; Bogotá, 1–84.
- Gaitán, A. y M. González. (1999). Análisis de crecimiento y desarrollo para cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) bajo condiciones de la Sabana de Bogotá. Trabajo de Grado Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 82 p
- García, O. Álvaro, B, Villalobos, F, Orgaz, F y Testi, L. (2016). "Effect of soil temperature on root resistance: implications for different trees under Mediterranean conditions". *Tree Physiol* doi: 10.1093/treephys/tpv126
- Garzón, C. (2014). Efecto de cuatro categorías de semilla en el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad superchola. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
- GIPB. (2009). Tackling climate change through plant breeding and better use of plant genetic resources. Global Partnership Initiative for Plant Breeding Capacity Building (GIPB).

- Goenaga R., Singh U., (1996). Estimation of leaf area of taro (*Colocasia esculenta* Schott.) from linear measurements. *J. Agric. University Puerto Rico* 80 (3), 183-185
- Gómez, C., C. Buitrago, M. Cante y B. Huertas. (1999). Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para cultivo fresco y para la industria. *Revista Comalfi* 26(1-3): 42-55.
- González, J. y Cáceres E. (2015). Evaluación Agronómica de Papa, Variedad superchola (*Solanum tuberosum*), con el Uso de Semilla Prebásica, Bajo dos Modalidades de Fertilización Edáfica, Complementada Con Fertilización Foliar. Tabacundo. Pichincha. (Tesis Pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.
- 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.
- Hernández, Naivy, Soto, F., Caballero, A., (2009). Modelos de Simulación de Cultivos. Características y usos. *Cultivos Tropicales*. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217899013>> ISSN
- 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.
- Hunt, R. (1978). *Plant growth Analysis*. *Studies in Biology* No. 96 Edward Arnold, London. pp. 67.
- INEC. (2018) Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua SPAC 2017.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2011). Manual del cultivo de Papa para la Sierra Sur. Obtenido de <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Manual%20del%20cultivo%20de%20papa%20para%20la%20Sierra%20Sur.pdf>
- López, G y Alvarado, F. 1997. Comparación del crecimiento foliar de dos variedades de Papa (*Solanum tberosum* ssp andígena) en el Altiplano de Pasto. *CIENCIAS AGRICOLAS*. Vol. 7. pp. 1-9
- López MA, Chaves B, Flórez VJ, Salazar MR. (2010) Modelo de aparición de nudos en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Delphi cultivado en sustratos. *Agron Colomb.* (19):47-54.

- MAG. (2014) Zonificación Agroecológica Económica del Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Ecuador Continental A Una Escala 1:250.000 Quito, Ecuador.
- Méndez, Díaz y Bernal. 2012. Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos agrícolas en Colombia, en el marco del estudio de impactos económicos del cambio climático (EIECC). FAO, IDEAM, MDVR, DNP.
- Montesdeoca, F. (2005). Guía para la producción, comercialización y uso de la semilla de papa de calidad. Proyecto Fortipapa Recuperado de https://nqxms1019hx1xmtstxk3k9skowpengine.netdna-ssl.com/wpcontent/uploads/Documentacion%20PDF/Guia_produccion_uso_semilla.pdf
- Montoya, Francisco Sevilla. (2013). Tesis Doctoral Calibración y Validación de Modelos para la Simulación de Patata (*Solanum tuberosum* L.) Bajo Diferentes Tratamiento de riego con Pivot en Condiciones Semiáridas. Albacete Diciembre.
- Muñoz, F., & Cruz, L. (1984). Manual del cultivo de papa. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), pp. 10.
- Oyarzún, P., León, D., y Forbes, A. (2001). Prospección e importancia de patógenos de suelo en papas en el Ecuador. IV Simposio Internacional del Desarrollo Sustentable en los Andes. Caracas, Venezuela.
- Pinango, L. (2016). Efecto de diferentes densidades de siembra y orígenes de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la tasa de extracción de tubérculo-semilla. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Porter, R. y Delecolle, R., (1988). Interaction of temperature with other environmental factors in controlling the development of plants. (Interacción de la temperatura con otros 54 factores ambientales en el control del desarrollo de las plantas.) University of Cambridge, Great Britain. 133-156
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). El cultivo de papa en Ecuador. Ecuador: INIAP-CIP. Obtenido de: <http://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Qadir, G, Cheema, M., Hassan, F., Ashraf, M., y Wahid. M., (2007). Relationship of heat unit's accumulation and fatty acid composition in sunflower. (Relación de la acumulación de unidades de calor y la composición de ácidos grasos en la floración.) Pakistan Journal of Agricultural Sciences 44(1): 24-29

- Rabia Malkia, R. Hartani, T y Dechmi F. (2016). Evaluation of DSSAT model for sprinkler irrigated potato: A case study of Northeast Algeria. *Africal Journal of Agricultural Research*, 2589-2598 Vol. 11.
- Realpe, E. (2010). Evaluación de la eficiencia de fungicida protectantes y sistématicos para el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en el cultivo de papa en San Pedro de Huaca Provincia del Carchi. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Rodrigues, M. (2013). La producción y el comercio de la papa en el contexto internacional y latinoamericano. Obtenido de <https://www.clubensayos.com/Negocios/LA-PRODUCCI%C3%93N-Y-ELCOMERCIO-DE-LA-PAPA/538968.html>
- Rojas, E. O. (2011). Evaluación del desarrollo cultivo Evaluación del desarrollo cultivo Evaluación del desarrollo cultivo Evaluación del desarrollo cultivo Evaluación del desarrollo cultivo Evaluación del desarrollo cultivo Evaluación del desarrollo cultivo Evaluación del de. Bogotá- Colombia: Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias.
- Rubio, C. (2015). Evaluación de la Producción de Tubérculos Semilla en cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Salazar, M, Johnson J, Chaves, B. Hoogenboom G. (2013) Relationship of base temperature to development of winter wheat. *Int J Plant Prod.*; 7 (4):741-762.
- Sánchez, M y Meza, R. (2015). Evaluación del Rendimiento del Cultivo de Papa Bajo la Aplicación del Riego Deficitario (Prd) Utilizando Cintas de Riego. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú. *Anales Científicos*. Vol. 76. N 1. pp. 21-28
- Santo, Álvaro Espíritu. (2017) *InfoAgro*. Papa, el alimento de México. (Citado el: 31 de 07 de 2018.) <https://infoagro.com/mexico/papa-el-alimento-de-mexico/>
- Santos, M. Segura, M. Núñez, C. (2010). Análisis de Crecimiento y Relación Fuente-Demanda de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. Vol. 63, N 1, pp. 5253-5266. Disponible en: <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24945/36978>>.
- Fecha de acceso: 24 jul. 2018

- Sarmiento, W. B. (2002). Desarrollo de una variedad de papa andígena en los andes venezolanos y su simulación por el modelo substor. *ecotrópicos*, 111-122.
- Sifuentes E., W. Ojeda, C. Mendoza, J. Macías, J. del R. Ruelas y M. A. Inzunza. (2013). Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el “Valle del Fuerte” Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4:585-597.
- Sifuentes, E. Macías, J. Apodaca, M. y Cortez, E. (2009). Predicción de la fenología de papa Principios y Aplicaciones prácticas. Los Mochis, Sinaloa México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional del Noroeste Campo Experimental Valle del Fuerte
- Sifuentes, I. E., Ojeda, B. W. y Macías, C. J. (2006). “Calendarización del riego y grados día en el cultivo de papa”, Folleto técnico. Fundación Produce Sinaloa, Sinaloa, México. pp. 34
- SIPA, Rendimientos de Papa en El Ecuador Segundo Ciclo Del 2015. (2016). Obtenido de http://sipa.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_papa.pdf.
- SIPA. Ministerio de Agricultura Y Ganaderia. (2018). Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/compendio-agro> Quito. Ecuador
- Solano, E. (2018). “Evaluación de Cuatro Densidades de Siembra de Papa (*Solanum tuberosum* L.) Variedad superchola, Categoría Básica, para La Producción de Semilla Registrada, en el Cantón Bolívar, Carchi.” (Tesis Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Ecuador
- Soto Garcés, A., Cotes Torres, J., & Rodríguez Caicedo, D. (2018) Modelo de simulación del crecimiento y desarrollo de la papa criolla. *CIENCIA EN DESARROLLO*, 9(1), 9-31. <https://doi.org/10.19053/01217488.v9.n1.2018.7008>.
- Stastna M, Toman F, Dufková J. (2010). Usage of SUBSTOR model in potato yield prediction. *Agric. Water Manage.* 97:286-290.
- Toledo, A., Albuja Catro, L., & Jose, R. (2006). Manual del Cultivo de Papa FARM AGRO. Guayaquil: EDIFARM.
- Tsialtas, J. T. y Maslaris, N. (2007). Leaf shape and it relationship with leaf area index in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivar. *Photosynthetica*, vol. 45, p. 527-532.

- UCSM. Universidad Católica de Santa María. (2017). Recuperado el 31 de 07 de 2018, de El mayor productor de papa en el mundo es China: <http://www.ucsm.edu.pe/el-mayor-productor-de-papa-en-el-mundo-es-china/>
- 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.
- Washington, D. (1994). República del Ecuador Inerhi-Predesur-Conade. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaria Ejecutiva para Asuntos Economicos y Sociales Secretaria General de la Organizacion de los Estados Americanos. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea02s/begin.htm#Contents>

9. ANEXOS

Anexo 1. Diámetro (cm) y peso (g) de los tubérculos para semilla y de los tubérculos de cosecha.

| Número | Semilla | | Cosecha | | Peso semilla |
|-----------------|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| | Largo | Ancho | Largo | Ancho | |
| 1 | 4.2 | 3.8 | 6.3 | 4.7 | 34.9 |
| 2 | 4.1 | 3.6 | 6.1 | 5.05 | 43.9 |
| 3 | 3.9 | 3.6 | 5.9 | 4.9 | 39.2 |
| 4 | 3.5 | 3.2 | 5.2 | 3.8 | 37.8 |
| 5 | 3.6 | 3.1 | 5.75 | 4.8 | 40 |
| 6 | 3.8 | 4.2 | 5.2 | 3.2 | 48.1 |
| 7 | 5.3 | 4.2 | 8 | 4.4 | 46.6 |
| 8 | 4.7 | 4.9 | 5.2 | 4.15 | 42.8 |
| 9 | 4.7 | 4.6 | 5.8 | 4.3 | 38.4 |
| 10 | 4.2 | 3.2 | 5 | 4.6 | 46 |
| 11 | 5.3 | 4.1 | 5.5 | 4.05 | 45.8 |
| 12 | 4.5 | 3.8 | 5.95 | 4.1 | 44.7 |
| 13 | 4.3 | 3.6 | 6.7 | 4.45 | 44.3 |
| 14 | 3.8 | 3.5 | 5.2 | 4.85 | 45.3 |
| 15 | 3.5 | 3.1 | 5.4 | 4.25 | 40.7 |
| 16 | 7.1 | 4.3 | 5.2 | 3.4 | 36.7 |
| 17 | 4.2 | 4.3 | 5.1 | 3.25 | 48.1 |
| 18 | 3.8 | 3.6 | 7.9 | 5.1 | 46.4 |
| 19 | 4.2 | 3.8 | 7 | 4.9 | 42.2 |
| 20 | 3.8 | 3.5 | 6.6 | 4.7 | 39.4 |
| Promedio | 4.325 | 3.8 | 5.95 | 4.35 | 42.56 |

Anexo 2. Promedios anuales de temperatura máxima, mínima y media, precipitación y humedad relativa

| Argelia_Max | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| NOMBRE: LA ARGELIA-LOJA CODIGO: M0033 | | | | | | | | | | | | | |
| PERIODO: 1990 - 2015 LATITUD: 46 2' 11" S LONGITUD: 796 12' 4" W ELEVACION: 2160.00 | | | | | | | | | | | | | |
| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA |
| 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 |
| 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 |
| 1992 | 21.8 | 22.1 | 21.5 | 22.0 | 22.4 | 19.8 | 19.5 | 20.7 | 21.9 | 22.9 | 23.8 | 22.7 | 260.1 |
| 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 |
| 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 |
| 1995 | 20.8 | 22.8 | 22.0 | 21.9 | 21.3 | 21.6 | 21.8 | 21.8 | 21.1 | 23.2 | 23.1 | 22.4 | 263.0 |
| 1996 | 21.2 | 20.5 | 21.9 | 21.9 | 21.7 | 20.5 | 19.6 | 19.3 | 20.4 | 23.0 | 23.7 | 21.9 | 255.8 |
| 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 | 22.8 | 22.7 | 23.4 | 262.1 |
| 1999 | 21.7 | 20.6 | 21.3 | 20.1 | 20.7 | 20.6 | 18.6 | 19.6 | 21.2 | 21.9 | 23.7 | 20.7 | 250.6 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 2008 | 20.4 | 20.0 | 21.8 | 21.7 | 20.9 | 20.9 | 19.4 | 20.7 | 20.8 | 22.6 | 23.1 | 23.0 | 255.3 |
| 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 |
| 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 |
| 2011 | 21.8 | 22.0 | 22.5 | 22.4 | 21.1 | 21.5 | 19.2 | 20.6 | 20.6 | 22.9 | 23.1 | 21.6 | 259.2 |
| 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 |
| 2013 | 20.5 | 21.3 | 21.9 | 21.9 | 22.5 | 19.9 | 18.4 | 19.5 | 21.1 | 22.1 | 23.8 | 22.5 | 255.4 |
| 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 | 252.9 |
| 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 |
| 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 |
| 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 | |
| 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 | |

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

| SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|----------------------|-----|-----|------------------------|-----|---------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| NOMBRE: LA ARGELIA-LOJA | | | | | | | CODIGO: H0033 | | | | | | |
| PERIODO: 1990 - 2015 | | LATITUD: 46 2' 11" S | | | LONGITUD: 796 12' 4" W | | | ELEVACION: 2160.00 | | | | | |
| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | SUMA |
| 1990 | 77 | 78 | 79 | 80 | 74 | 78 | | 71 | 74 | 76 | 76 | 76 | |
| 1991 | 76 | 77 | 78 | 76 | 77 | 73 | 70 | 69 | 68 | 70 | 72 | 71 | 877 |
| 1992 | 74 | 75 | 75 | 76 | 77 | 76 | 73 | 67 | 74 | 71 | 74 | 76 | 888 |
| 1993 | 75 | 76 | 78 | 76 | 74 | 73 | 73 | 70 | 73 | 74 | 73 | 76 | 891 |
| 1994 | 78 | 77 | 76 | 75 | 76 | 76 | 74 | 72 | 74 | 72 | 77 | 77 | 904 |
| 1995 | 78 | 75 | 77 | 78 | 77 | 73 | 73 | 67 | 69 | 73 | 79 | 77 | 896 |
| 1996 | 78 | 79 | 79 | 76 | 75 | 74 | 72 | 74 | 71 | 73 | 70 | 74 | 895 |
| 1997 | 77 | 78 | 75 | 76 | 74 | 71 | 71 | 71 | 71 | 70 | 74 | | |
| 1998 | 76 | 74 | 76 | 77 | 73 | 72 | 73 | 70 | 69 | 75 | 76 | 71 | 882 |
| 1999 | 77 | 80 | 76 | 76 | 76 | 77 | 73 | 70 | 75 | 72 | 73 | 81 | 906 |
| 2000 | 78 | 79 | 78 | 78 | 78 | 78 | 74 | 72 | 75 | 71 | 69 | 74 | 904 |
| 2001 | 74 | 79 | 75 | 76 | 75 | 75 | 77 | 72 | 73 | 71 | 75 | 74 | 896 |
| 2002 | 79 | 79 | 75 | 78 | 75 | 73 | 77 | 69 | 69 | 73 | 76 | 74 | 897 |
| 2003 | 77 | 79 | 79 | 77 | 78 | 77 | 73 | 69 | 70 | 72 | 73 | 77 | 901 |
| 2004 | 73 | 74 | 79 | 76 | 76 | 77 | 76 | 69 | 71 | 74 | 75 | 75 | 895 |
| 2005 | 73 | 77 | 77 | 76 | 73 | 75 | 67 | 67 | 72 | 69 | 76 | 76 | 869 |
| 2006 | 75 | 76 | 76 | 74 | 72 | 71 | 69 | 67 | 69 | 70 | 74 | 74 | 867 |
| 2007 | 74 | 75 | 76 | 75 | 78 | 81 | 73 | 75 | 74 | 74 | 77 | 74 | 906 |
| 2008 | 77 | 79 | 76 | 77 | 75 | 71 | 75 | 72 | 71 | 73 | 74 | 74 | 894 |
| 2009 | 76 | 76 | 74 | 74 | 72 | 72 | 75 | 75 | 75 | 74 | 74 | 75 | 892 |
| 2010 | 78 | 78 | 76 | 77 | 78 | 78 | 74 | 69 | 71 | 72 | 76 | 78 | 905 |
| 2011 | 77 | 80 | 78 | 79 | 76 | 77 | 77 | 69 | 74 | 73 | 76 | 79 | 915 |
| 2012 | 79 | 80 | 79 | 78 | 77 | 76 | 73 | 66 | 67 | 75 | 76 | 77 | 903 |
| 2013 | 80 | 83 | 80 | 77 | 80 | 78 | 77 | 78 | 74 | 78 | 74 | 77 | 936 |
| 2014 | 81 | 81 | 84 | 77 | 82 | 80 | 74 | 74 | 72 | 74 | 76 | 79 | 934 |
| 2015 | 81 | 79 | 81 | 79 | 79 | 77 | 77 | 72 | 72 | 77 | 76 | 78 | 928 |
| media | 76 | 77 | 77 | 76 | 76 | 75 | 73 | 70 | 71 | 73 | 74 | 75 | 899 |
| minimo | 73 | 74 | 74 | 74 | 73 | 71 | 67 | 66 | 67 | 70 | 69 | 71 | |

Figura 4. Tabla de datos mensuales de Humedad Relativa

Anexo 3. Correlaciones entre las diferentes variables evaluadas. Los coeficientes en negritas indican las correlaciones significativas (p-valor < 0.05).

| | BH | BT | BR | BEs | BPM | Btub | BTt | MsH | MsT | MsR | MsEs | MsPM | MsTub | MsTt | AF | Nest | NtP | Nts | Ntub | NH |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----|
| BH | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BT | 0.44 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BR | 0.76 | 0.62 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Best | 0.35 | 0.74 | 0.62 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BPM | 0.23 | -0.53 | 0.04 | -0.40 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Btub | -0.25 | 0.31 | -0.06 | 0.36 | -0.67 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| BTt | 0.52 | 0.87 | 0.61 | 0.71 | -0.41 | 0.63 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| MsH | 0.93 | 0.48 | 0.71 | 0.36 | 0.16 | -0.18 | 0.55 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| MsT | 0.33 | 0.80 | 0.44 | 0.61 | -0.56 | 0.68 | 0.90 | 0.41 | 1 | | | | | | | | | | | |
| MsR | 0.55 | 0.70 | 0.84 | 0.67 | -0.21 | 0.33 | 0.76 | 0.56 | 0.68 | 1 | | | | | | | | | | |
| MsEst | 0.12 | 0.70 | 0.44 | 0.89 | -0.56 | 0.55 | 0.68 | 0.16 | 0.67 | 0.61 | 1 | | | | | | | | | |
| MsPM | -0.29 | -0.66 | -0.45 | -0.66 | 0.65 | -0.51 | -0.65 | -0.31 | -0.62 | -0.61 | -0.67 | 1 | | | | | | | | |
| MsTub | -0.26 | 0.30 | -0.07 | 0.35 | -0.66 | 1.00 | 0.62 | -0.18 | 0.67 | 0.32 | 0.54 | -0.49 | 1 | | | | | | | |
| MsTt | 0.19 | 0.61 | 0.26 | 0.53 | -0.55 | 0.90 | 0.87 | 0.29 | 0.90 | 0.57 | 0.64 | -0.54 | 0.90 | 1 | | | | | | |
| AF | 0.89 | 0.48 | 0.70 | 0.45 | 0.17 | -0.19 | 0.56 | 0.89 | 0.42 | 0.56 | 0.22 | -0.36 | -0.21 | 0.28 | 1 | | | | | |
| NEst | 0.69 | 0.63 | 0.83 | 0.71 | 0.00 | 0.09 | 0.67 | 0.68 | 0.53 | 0.77 | 0.55 | -0.61 | 0.08 | 0.39 | 0.79 | 1 | | | | |
| NtP | 0.47 | 0.50 | 0.62 | 0.38 | -0.02 | 0.18 | 0.56 | 0.50 | 0.50 | 0.61 | 0.30 | -0.31 | 0.17 | 0.42 | 0.53 | 0.62 | 1 | | | |
| Nts | -0.35 | 0.55 | -0.02 | 0.22 | -0.51 | 0.50 | 0.61 | -0.27 | 0.55 | 0.30 | 0.34 | -0.49 | 0.49 | 0.56 | -0.34 | -0.19 | -0.02 | 1 | | |
| Ntub | -0.05 | 0.60 | 0.25 | 0.69 | -0.59 | 0.70 | 0.67 | 0.00 | 0.65 | 0.58 | 0.78 | -0.61 | 0.69 | 0.69 | 0.06 | 0.39 | 0.23 | 0.72 | 1 | |
| NH | 0.57 | 0.85 | 0.64 | 0.71 | -0.30 | 0.34 | 0.84 | 0.62 | 0.72 | 0.69 | 0.60 | -0.60 | 0.31 | 0.65 | 0.70 | 0.77 | 0.62 | 0.47 | 0.59 | 1 |

BH: Biomasa Hojas, **BT:** Biomasa tallos, **BR:** Biomasa raíz, **BEs:** Biomasa estolones, **BPM:** Biomasa papa madre, **Btub:** Biomasa tubérculos, **BTt:** Biomasa total, **MsH:** Masa seca hojas, **MsT:** Masa seca tallos, **MsR:** Masa seca raíz, **MsEst:** Masa seca estolones, **MsPM:** Masa seca papa madre, **MsTub:** Masa seca tubérculos, **MsTt:** Masa seca total, **AF:** área foliar, **Nest:** número de estolones, **NtP:** número de tallos principales, **Nts:** número de tallos secundarios, **Ntub:** número de tubérculos, **NH:** número de hojas.

Anexo 4. Análisis del rendimiento en los tratamientos regadío y seco

| Tratamiento | Media | n | EEM |
|-------------|-------|---|------|
| Regadío | 6.33 | 4 | 0.71 |
| Secano | 5.73 | 4 | 0.71 |

n: número. EEM: Error estándar medio.

Anexo 5. Base de datos del suelo utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato

```
soil_SueloArgelia.sol x
*INIAPPI107 INIAP SIC 120 ECUADOR PINDAL1
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY
PINDAL ECUADOR -4.1 -80.1 Arcilloso
@ SCOM SALB SLU1 SLDR SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE
BN .13 6 .4 76 1 .9 IB00 IB00 IB00
@ SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI SLCF SLNI SLHW SLHB SCEC SADC
20 A .120 .452 .491 1 .09 1.3 4.1 40 40 15 -99 5.9 -99 -99 -99
40 AA .111 .476 .520 1 .06 1.3 1.8 42 26 15 -99 6.2 -99 -99 -99
120 AA .12 .457 .498 .6 .06 1.4 1 42 26 15 -99 6.2 -99 -99 -99

*ARGELIA001 INIAP SIC 120 ECUADOR LOJA1
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY
ARGELIA ECUADOR -4.01 -79.2 Franco-limoso
@ 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
18 AP .114 .241 .289 1 .68 1.57 .64 21.6 54.0 24.4 -99 -99 -99 -99 -99
42 A1 .079 .173 .240 .8 1.32 1.62 .25 17.6 47.6 34.7 -99 -99 -99 -99 -99
87 B1 .077 .165 .289 .4 1.32 1.37 .25 17.6 45.3 36.7 -99 -99 -99 -99 -99
120 B2 .054 .140 .196 .0 1.32 1.76 .06 12.0 49.6 38.4 -99 -99 -99 -99 -99
```

Anexo 6. Base de datos del clima utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato.

```
ARGE1801.WTH x
*WEATHER DATA : ARGE
@ 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 8.9 25.5 12.1 0.3 172.8 79
18275 12.5 24.5 12.1 0.0 172.8 75
18276 18.6 24.6 12.1 4.3 345.6 77
18277 12.9 23.2 11.7 0.9 172.8 84
18278 10.6 24.2 12.9 0.0 691.2 79
18279 19.1 22.4 14.2 0.0 345.6 76
18280 22.5 25.2 14.2 3.4 518.4 78
18281 14.8 22.7 12.8 0.3 172.8 82
18282 11.1 22.8 11.2 12.9 172.8 81
18283 17.8 22.8 10.8 0.0 259.2 71
18284 14.2 24.9 8.2 0.0 172.8 65
18285 23.0 25.0 7.2 0.0 345.6 65
18286 18.4 24.7 6.2 0.4 345.6 67
18287 21.5 24.8 11.3 0.5 691.2 75
18288 12.4 22.2 13.8 0.4 345.6 76
18289 14.2 25.2 12.7 0.0 172.8 72
18290 23.1 24.7 11.9 0.5 172.8 72
18291 25.0 26.5 12.3 4.7 345.6 87
18292 23.5 26.8 9.4 0.3 259.2 71
18293 19.8 22.2 12.4 0.1 172.8 84
18294 18.7 24.1 10.5 0.0 172.8 75
18295 17.7 25.4 10.6 0.0 345.6 73
18296 15.0 26.1 7.2 0.0 345.6 73
18297 25.5 26.1 9.2 0.0 345.6 69
```

Anexo 7. Base de datos del manejo del cultivo de papa utilizado en la calibración del modelo de simulación de cultivos DSSAT SUBSTOR-Potato.

```

E1803.PTX]
Herramientas  Macros  Configuración  Ventana  Ayuda
Búscar incrementalmente
ARGE1803.PTX x
*EXP.DETAILS: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, LA ARGELIA, LOJA, ECUADOR

*GENERAL
@PEOPLE
Ewing
@ADDRESS
UNIVERSIDAD NACIONAL, LA ARGELIA, LOJA, ECUADOR
@SITE
UNIVERSIDAD NACIONAL

*TREATMENTS
-----FACTOR LEVELS-----
@N R O C INAME..... CU FL SA IC MP MI MF MR MC MT ME MH SM
1 1 0 0 Argelia potatos 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1

*CULTIVARS
@C CR INGENO CNAME
1 FT JG0001 Superchola

*FIELDS
@L ID FIELD WSTA.... FLSA FLOB FLDT FLDD FLDS FLST SLTX SLDP ID_SOIL FLNAME
1 ARGE0001 ARGE 0 0 IB000 0 0 00000 -99 0 ARGELIA001 -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 ICDAI ICRI ICND ICRN ICRE ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIPI ICRIID ICINAME
1 PT 18310 0000 0 1 1 -99 2500 2.67 0 100 15 -99
@C ICBL SH2O SMH4 SMO3
1 10 .22 3.4 9.8
1 25 .22 3.2 7.3
1 40 .22 2.5 5.1
1 65 .22 2.2 4.7

*PLANTING DETAILS
@P PDATE EDATE PPOF PPOE PLME PLDS PLRS PLRD PLDP PLWT PAGE PENV PLPH SPRL PLNAME
1 18310 18344 1.7 1.7 S R 120 0 15 1417 -99 -99 -99 8 -99
  
```

```

RGE1803.PTX]
Herramientas  Macros  Configuración  Ventana  Ayuda
Búscar incrementalmente
ARGE1803.PTX x
1 0.9 20 50 100 -99 -99 8 -99
@I IDATE IROP IRVAL
1 18345 IRO01 -99
1 18362 IRO01 -99
1 19004 IRO01 -99

*FERTILIZERS (INORGANIC)
@F FDATE FMCD FACD FDEP FAMN FAMP FANK FAMC FAMO FOCD FERNAME
1 18358 FE002 -99 10 100 0 0 0 0 -99 -99

*HARVEST DETAILS
@H HDATE HSTG HCOM HSIZE HPC HBPC HNAME
1 19085 GS000 -99 -99 -99 0

*SIMULATION CONTROLS
@N GENERAL NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME..... SMODEL
1 GE 1 1 S 18310 2150 New York: model validati
@N OPTIONS WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES CHEM TILL CO2
1 OP N Y Y N N N N Y M
@N METHODS WITHER INCON LIGHT EVAPO INFIL PHOTO HYDRO NSWIT MESOM MESEV MESOL
1 ME M S E R S R R 1 G S 2
@N MANAGEMENT PLANT IRRIG FERTI RESID HARVS
1 MA R N A A R
@N OUTPUTS FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT VBOSE CHOUT OPOUT
1 OU N Y Y 1 Y Y Y Y N N Y N N

@ AUTOMATIC MANAGEMENT
@N PLANTING PFRST PLAST PH2OL PH2OU PH2OD PSTMX PSTMN
1 PL 18310 18315 40 100 20 30 5
@N IRRIGATION IMDEP ITHRL ITHRU IROFF IMETH IRAMT IREFF
1 IR 50 80 100 IB001 IBI01 10 1
@N NITROGEN NMDEP NMTHR NAMNT NCODE NAOFF
1 NI 20 50 25 IB001 IB001
@N RESIDUES RIPCN RTIME RIDEP
1 RE 100 1 20
@N HARVEST PFRST PLAST HPCND HPCND
  
```

Anexo 8. Actividades de campo realizado en el cultivo de papa variedad *superchola*.



Figura 1. Instalación del sistema de riego por goteo (26/10/2018).



Figura 2. Siembra de papa subespecie *andígena* variedad *superchola* (06/11/2018)



Figura 3. Peso de las raíces para determinar la materia seca (19/12/2018)



Figura 4. Crecimiento de los tubérculos de la variedad *superchola* (30/01/2019)



Figura 5. Toma de datos de altura (cm) en campo (05/02/2019)



Figura 6. Cosecha de papa *superchola* (26/03/2019).

Anexo 9. 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 : | JOSE GONZALEZ | Nombre : | S/N | Informe No. : | 21548 | Factura No. : | 05641 |
| Dirección : | N/E | Provincia : | LOJA | Responsable Muestreo : | Cliente | Fecha Análisis : | 03/10/2018 |
| Ciudad : | N/E | Cantón : | LOJA | Fecha Muestreo : | 14/09/2018 | Fecha Emisión : | 05/10/2018 |
| Teléfono : | N/E | Parroquia : | LOJA | Fecha Ingreso : | 18/09/2018 | Fecha impresión : | 05/10/2018 |
| Fax : | N/E | Ubicación : | N/E | Condiciones Ambientales : | T°C: 23.0 %H: 56.0 | Cultivo Actual : | BARBECHO |

| N° Laborat. | Identificación del Lote | pH | ug/ml | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------------------|-----------|--------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|------|
| | | | * NH 4 | * P | K | * Ca | * Mg | * S | * Zn | Cu | *Fe | *Mn | * B | * Cl |
| 68628 | LOJA | 5.3 Ac RC | 28 M | 13 M | 101 M | 744 B | 143 M | 22 A | 3.2 M | 4.8 A | 318 A | 71.0 A | 0.60 M | |

| Interpretación | pH | |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------|
| NH ₄ , P, K, Ca, Mg, S | MAc = Muy Acido | N = Neutro |
| Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl | Ac = Acido | LAl = Líg. Albalino |
| B = Bajo | MeAc = Med. Acido | MeAl = Med. Alcalino |
| M = Medio | LAc = Líg. Acido | Al = Alcalino |
| A = Alto | PN = Prac. Neutro | RC = Requiere Cal |

| Determinación | Metodología | Extractante |
|----------------|-----------------|---------------------|
| NH 4, P | Colorimetría | Olson |
| K, Ca, Mg | Absorción | Modificado |
| Zn, Cu, Fe, Mn | Albúrica | 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 Óptimos | | | |
|-------------------------------|------------|----|-------------|
| Medio (ug/ml) | | | |
| NH 4 | 20 - 40 | Mg | 121.5 - 243 |
| P | 10 - 20 | S | 10 - 20 |
| K | 75 - 150 | Zn | 2.0 - 7.5 |
| Ca | 800 - 1600 | Cu | 1.0 - 4.0 |
| | | Cl | 17 - 34 |

N/E = No entregado

<LC = Menor al Límite 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.



**ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS**

Km. 26 Via 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 : | JOSE GONZALEZ | Nombre : | S/N | Informe No. : | 21548 | Factura No. : | 05641 |
| Dirección : | N/E | Provincia : | LOJA | Responsable Muestreo : | Cliente | Fecha Análisis : | 03/10/2018 |
| Ciudad : | N/E | Cantón : | LOJA | Fecha Muestreo : | 14/09/2018 | Fecha Emisión : | 05/10/2018 |
| Teléfono : | N/E | Parroquia : | LOJA | Fecha Ingreso : | 18/09/2018 | Fecha Impresión : | 05/10/2018 |
| Fax : | N/E | Ubicación : | N/E | Condiciones Ambientales : | T°C:23.0 %H: 56.0 | Cultivo Actual : | BARBECHO |

| N° Laborat. | Identificación | * Textura (%) | | | * Clase Textural | | | meq/100ml | | | mS/cm (%) | | | meq/100ml | | | Ca | Mg | Ca+Mg | | | | | | |
|-------------|----------------|---------------|------|---------|------------------|--|--|-----------|------|------|-----------|--------|------|-----------|------|---------|------|----|-------|------|---|------|---|-------|---|
| | | Arena | Limo | Arcilla | | | | * Al+H | * Al | * Na | C.E. | * M.O. | K | * Ca | * Mg | Σ Bases | Mg | K | K | | | | | | |
| 68628 | LOJA | | | | | | | | | | 1.50 | B | 0.26 | M | 3.72 | B | 1.18 | M | 5.16 | 3.16 | M | 4.54 | M | 18.91 | M |

| Interpretación | |
|--------------------|------------------|
| Al+H, Al, Na | C.E. |
| Ad = Adecuado | NS = No Salino |
| LT = Ligera Tóxica | LS = Lig. Salino |
| T = Tóxica | S = Salino |
| | MS = Muy Salino |

| Abreviaturas |
|--|
| C.E. Conductividad Eléctrica |
| M.O. Materia Orgánica |
| CIC Capacidad de Intercambio Catiónico |

| Determinación | Metodología | Extrayente |
|---------------|----------------------------|-------------------|
| M.O. | Walkley Black | Dicromato de K |
| CIC | | Acetato de Amonio |
| Na | | Cloruro de Bario |
| C.E. | Extracto de pasta saturada | Agua |

| Lig. Tóxica meq/100ml | Niveles de Referencia | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| | Lig. Salino (ds/m) | | Medio | Medio (meq/100ml) |
| Al+H | 0.51 - 1.5 | C.E. 2.0 - 4.0 | Ca/Mg 2.0 - 8.0 | K 0.2 - 0.4 |
| Al | 0.31 - 1.0 | Medio (%) | Mg/K 2.5 - 10.0 | Ca 4 - 8 |
| Na | 0.5 - 1.0 | M.O. 3.1 - 5.0 | (Ca+Mg)/K 12.5 - 50.0 | Mg 1 - 2 |

NE = No entregado

<LC = Menor al Límite 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 10. Comparación del peso de tubérculos de los datos observados y simulados expresados en Kg.

| DDS | Observado | Simulado |
|------------|------------------|-----------------|
| 43 | 0 | 0 |
| 57 | 0 | 0 |
| 64 | 0 | 0 |
| 71 | 0 | 0 |
| 78 | 0 | 0 |
| 85 | 41.75 | 232 |
| 92 | 3 72.8125 | 632 |
| 106 | 2 030.125 | 1 914 |
| 120 | 3 248.5 | 3 500 |
| 134 | 5 175.25 | 5 085 |
| 140 | 5 720 | 5 765 |

Anexo 11. 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
SUBSTOR-Potato bajo Condiciones Andinas

Fecha: Lunes 29 de julio del año 2019

Hora: 8H00 a.m.

| Nº | Nombres y Apellidos | Nº de cedula | Firma |
|----|----------------------------------|--------------|-------|
| | Alexavier Sanchez Romero | 1706023797 | |
| | Jessica Elena Ortega Montoya | 1104913916 | |
| | Oscar Efrén Aguilera Muñoz | 1105726275 | |
| | Ana Belén Reinoso Pacheco | 1105824100 | |
| | Jefferson Javier Guizher Jimenez | 1104513256 | |
| | Edwin Paul Agila Arias | 1150149498 | |
| | Vanessa María Reyes Vicente | 1150014130 | |
| | Enith Nataly Bravo Campoverde | 1150638954 | |
| | Gabriela del Cisne Pineda S. | 1106055328 | |
| | Lizbeth Marianela Escoto Flores | 1105232092 | |
| | Gabriela Marisol Jiménez Jiménez | 1105671489 | |
| | Yajaira Patricia López Luzón | 1150245619 | |
| | Cristina Marisol Correa Ullauri | 1150012498 | |
| | Janeth Marcela Lamar Guerrero | 1150165858 | |
| | Yoisy Tabiana Gorderas Yuv | 1900358168 | |
| | Henry Alexander Velez Cuñar | 1150339230 | |
| | Franco Alexander Ramón Maldonado | 1165269299 | |
| | Samira Salazar García | 1143139397 | |
| | Rosa Carolina Campoverde Córdo | 115862484 | |
| | Kevin Tovián Guerrero Salinas | 2200152904 | |



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



| N° | Nombres y Apellidos | N° de cedula | Firma |
|-----|----------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 1° | Ray Paul Merino. C | 1150722773 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 2° | Kevin Favian Guerrero Salinas | 2200152904 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 3° | Rosa Carolina Campoverde Cordova | 405862484 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 4° | Luis Romero Manzaneres | 0705641751 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 5° | Jefferson Alexander Oviedo Malán | 0504069279 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 6° | Itel Exavier Romero Castillo | 1950008688 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 7° | Johnny Daniel Rosales R | 0706440211 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 8 | Rosa Alexandra Jiménez Jiménez | 1105384817 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 9° | Marilin Kandy Cumbiwa Jiménez | 1950117810 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 10° | Karinu Aljondres Cobo Córdoba | 1106116054 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| 11° | Janeth Alexandra Jiménez Calva | 1150192777 | <i>[Handwritten Signature]</i> |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Anexo 12. Tríptico presentado en la exposición de los resultados obtenidos

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum L*) es una de las principales fuentes de alimentación, ingresos, mano de obra y su alto rendimiento energético la convierte en un alimento esencial para aquellas regiones donde existen escasas alternativas productivas,

Los factores que limitan la producción de papa son temperaturas altas, días de corta duración, baja intensidad de luz, malas condiciones físicas del suelo, niveles de aplicación de fertilizantes y presencia de enfermedades como el tizón tardío.

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 SUBSTOR –Potato en perspectiva de mejorar la producción y sostenibilidad en la región Andina.

TRATAMIENTOS

T1: Regadío

T2: Secano

RESULTADOS

1. Fenología

El periodo de evaluación empezó desde el día 0 (Siembra) a los 140 DDS (cosecha), en los mismo que se evalúa la fenología en los tratamiento de regadío y secano.

| FASES FENOLÓGICAS | TRATAMIENTOS | |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| | RIEGO (DDS) | SECANO (DDS) |
| Siembra | 6/11/2018 (0) | 06/11/2018 (0) |
| Emergencia | 3/12/2018 (24) | 10/12/2018 (34) |
| Floración | 19/01/2019 (74) | 19/01/2019 (74) |
| Tuberización | 28/01/2019 (83) | 30/01/2019 (83) |
| Cosecha | 26/03/2019 (140) | 26/03/2019 (140) |

Existen diferencias de días en los tratamientos de riego y secano en las etapas de emergencia y tuberización, alcanzando más rápido estas fases el tratamiento con riego, sin embargo estas diferencias no son significativas

2. Integral térmica

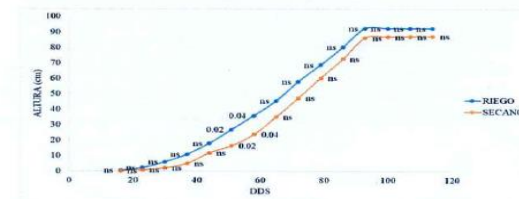
Integral térmica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum L*. subespecie indígena variedad Superchola) en los diferentes tratamientos.

| FENOFASE | Tb (°C) | Regadío | | Secano | |
|----------------------------------|----------|----------------|------------|----------------|------------|
| | | IT (°C día) | Días | IT (°C día) | Días |
| Siembra-Emergencia | 7 | 309,7 | 27 | 369,7 | 34 |
| Emergencia-Floración | 7 | 423,83 | 47 | 361,07 | 40 |
| Floración-Tuberización | 7 | 83,60 | 9 | 104,33 | 11 |
| Tuberización-Cosecha | 7 | 584,43 | 57 | 562,83 | 55 |
| Total (Siembra - Cosecha) | 7 | 1401,56 | 140 | 1397,93 | 140 |

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 regadío se necesitó un total de 1401,56 °C, para llegar a la cosecha a los 140 DDS, mientras que en secano se necesitó un total de 1397,93 °C para llegar a la cosecha a los 140 DDS.

3. Crecimiento

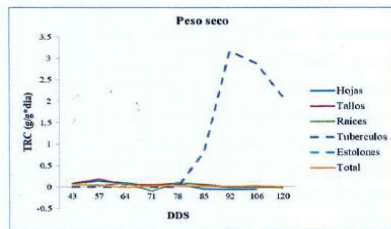
3.1. Altura



Altura desde la siembra hasta los 114 DDS, en las cuales se observan diferencias significativas entre los tratamientos regadío y secano a los días 51 y 58 DDS con un pvalor de 0,02 y 0,04 respectivamente.

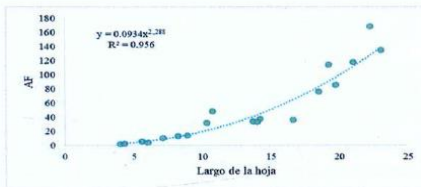
3.2. Tasa Relativa de Crecimiento

La TCR en hojas se obtuvieron valores altos a los 57 y 64 DDS con 0,14 y 0,1(g*g*día) respectivamente. Los tubérculos presentaron los a los 92 y 106 DDS con 3,17 y 2,88 (g*g*día) respectivamente.



3.3. Área foliar

Para calcular el área foliar se utilizó una medida alométrica basada en un análisis de regresión largo de la hoja obtenidas mediante Photoshop teniendo un R² de 0,95, n de 20 y p valor < 0.05. En la Figura 15 se muestra la ecuación y la curva de regresión ($AF = 0,0934 * Largo^{2,3288}$).



4. Rendimiento



En el rendimiento del cultivo de papa Superchola, no se observan diferencias significativas entre los dos tratamientos con una media de 6,33 y 5,69 t ha⁻¹ en riego y secano respectivamente.

5. Coeficientes genéticos

| Varietal | G2 | G3 | PD | P2 | TC |
|------------|-----|----|------|-----|----|
| Superchola | 100 | 10 | 0,25 | 0,4 | 11 |

Coeficientes genéticos obtenidos para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L) variedad Superchola subespecie Indígena.

6. Comparación entre los valores observados y simulados según SUBSTOR-Potato.

| Variable | Observado | Simulado | Diferencia | % Bm |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|------------|------|
| Rendimiento (kg ha ⁻¹) | 5 720,0 | 5 765,0 | -45 | 0,78 |
| Fecha floración (DDS) | 19/01/2019 (74) | 19/01/2019 (74) | 0 | 0 |
| Fecha tuberización (DDS) | 30/01/2019 (85) | 19/01/2019 (74) | 11 | 14,5 |



FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERIA
AGRONÓMICA

TITULO:

Evaluación y calibración del
modelo de simulación de cultivos
DSSAT SUBSTOR-Potato bajo
condiciones andinas

Autor José González

2019

