

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“EFECTO DEL MULCH, EN LA REDUCCIÓN DE ESTRÉS
HÍDRICO Y TÉRMICO EN EL CULTIVO DE LA PAPA ‹‹*Solanum
Tuberosum*›› DURANTE EL VERANO COSTERO”**

Presentada por:

GIANCARLO EFRAIN ARANA OCHOA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO

Lima – Perú

2021

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación

(Art. 24 – Reglamento de propiedad Intelectual)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

**“EFECTO DEL MULCH, EN LA REDUCCIÓN DE ESTRÉS
HÍDRICO Y TÉRMICO EN EL CULTIVO DE LA PAPA «*Solanum
Tuberosum*» DURANTE EL VERANO COSTERO”**

Presentada por:

GIANCARLO EFRAIN ARANA OCHOA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Ph.D. Alfredo Salomón Rodríguez Delfín
PRESIDENTE

Mg.Sc. Rolando Percy Egúsqüiza Bayona
MIEMBRO

Biol. Milagros del Rosario Chang La Rosa
MIEMBRO

Mg.Sc. Abelardo Ciro Calderón Rodríguez
ASESOR

AGRADECIMIENTO

Al Blgo. MSc. Abelardo Calderón Rodríguez, por su apoyo incondicional como asesor de esta tesis, sus consejos, amistad, ayuda, apoyo en su laboratorio y su paciencia

A la Ph. D. Ana Kitazono Sugahara por la amabilidad del préstamo de instrumentos de laboratorio de química de suma importancia para las evaluaciones bioquímicas.

A la blga Milagros Chang y Ph D. Alfredo Rodríguez por su apoyo.

A mis padres Efraín Arana Salinas, Isabel Ochoa Valdez por su apoyo, cariño y amor.

A mis hermanas Gianina Arana Ochoa y Yasmine Arana Ochoa por su afecto, atención y amor.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	3
2.1. CULTIVO DE PAPA	3
2.1.1. Generalidades del cultivo	3
2.1.2. Requerimiento hídrico	4
2.1.3. Requerimiento de Fertilización en Suelo	4
2.1.4. Requerimientos climáticos	5
2.2. ESTRÉS	5
2.2.1. Estrés Abiótico	6
2.2.2. Estrés Térmico.....	7
2.2.3. Estrés hídrico	8
2.3. MULCH	9
2.4. EVALUACIONES Y MEDICIONES PARA EL EVALUAR EL ESTRÉS HÍDRICO Y TÉRMICO	10
2.4.1. Pruebas bioquímicas	10
2.4.2. Análisis Biométricos	11
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1. MATERIALES	13
3.1.1. Equipos.....	13
3.1.2. Reactivos	13
3.2. MÉTODOS	14
3.2.1. Lugar de Ejecución del Experimento	14
3.2.2. Arreglo en campo	15
3.2.3. Instalación de equipos	16
3.2.4. Manejo del cultivo.....	18
3.2.5. Evaluaciones.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	31
4.1. Análisis de suelo	31

4.2.	Análisis de geotemperatura y humedad	31
4.3	Análisis de Crecimiento y Rendimiento	32
4.3.1.	Altura de la planta	32
4.3.2.	Número de tallos	33
4.3.3.	Número de hojas.....	34
4.3.4.	Longitud de la raíz.....	35
4.3.5.	Peso seco	36
4.3.6.	Peso Fresco.....	45
4.4.	Análisis bioquímicos	54
4.4.1.	Concentración de prolina foliar	54
4.4.2.	Concentración de clorofila foliar.....	55
4.5.	Correlaciones.....	59
V.	CONCLUSIONES.....	62
VI.	RECOMENDACIONES	63
VII.	BIBLIOGRAFÍA	64
VIII.	ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fertilizantes químicos empleados en el enriquecimiento mineral del suelo por repetición.....	19
Tabla 2: Evaluación de la humedad volumétrica en capacidad de campo, punto de marchitez y volumen de agua libre disponible en el suelo para el crecimiento óptimo del cultivo de papa.....	21
Tabla 3: Evaluación de frecuencia de riego y volumen de riego necesario para el crecimiento óptimo del cultivo de papa por repetición.....	21
Tabla 4: Volumen de riego administrado durante el periodo de estrés en cultivo de papa variedad “Canchan” por repetición.....	22
Tabla 5: Altura de la planta a los 90 dds (cm).....	33
Tabla 6: Promedio de Número de tallos secundarios a los 90 dds.....	34
Tabla 7: Promedio de número de Hojas por tratamiento a los 90 dds.....	35
Tabla 8: Promedio de longitud de la raíces para los tratamientos a los 90 dds (cm).....	36
Tabla 9: Promedio de pesos secos de hojas por tratamiento a los 90 dds (g).....	36
Tabla 10: Promedio de peso seco de tallos para los tratamientos a los 90 dds (g).....	38
Tabla 11: Promedio de pesos secos de raíces a los 90 dds (g).....	39
Tabla 12: Peso seco de tubérculos por planta (g).....	41
Tabla 13: Índice de Cosecha.....	42
Tabla 14: Promedio de pesos frescos de hojas por tratamiento (g).....	46
Tabla 15: Promedio de pesos fresco de tallos para los tratamientos (g).....	47
Tabla 16: Promedio de pesos fresco de raíces (g).....	48
Tabla 17: Peso fresco de tubérculos por planta (g).....	49
Tabla 18: Concentración de prolina.....	54
Tabla 19: Concentración de clorofila A.....	56

Tabla 20: Concentración foliar de clorofila B (mg de clorofila B/ g de tejido foliar).....	57
Tabla 21: Concentración foliar de clorofila total (mg de clorofila total/ g de tejido foliar)	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución al azar de los tratamientos en el campo	15
Figura 2: Campo Experimental	16
Figura 3: Termistores a 0 cm, 2 cm, 12 cm y 25 cm de profundidad.....	17
Figura 4: Extracción de suelo para la evaluación humedad gravimétrica.....	17
Figura 5: Humedad gravimétrica (g de H ₂ O/ g de suelo seco) a 5 cm de profundidad en los diferentes tratamientos.....	23
Figura 6: Humedad gravimétrica (g de H ₂ O/ g de suelo seco) a 15 cm de profundidad.....	23
Figura 7: Geotemperatura media horaria, promediada para cada mes en los diferentes tratamientos a nivel de superficie (0 cm).....	25
Figura 8: Geotemperatura media horaria, promediada para cada mes en los diferentes tratamientos a nivel de superficie (2 cm).....	26
Figura 9: Geotemperatura media horaria, promediada para cada mes en los diferentes tratamientos a nivel de superficie (12 cm).....	26
Figura 10: Geotemperatura media horaria, promediada para cada mes en los diferentes tratamientos a nivel de superficie (25 cm).....	28
Figura 11: Altura de la planta a los 90 dds (cm)	33
Figura 12: Número promedio de tallos secundarios a los 90 dds.....	34
Figura 13: Promedio de número de hojas por tratamiento a los 90 dds	35
Figura 14: Promedio de longitud de las raíces a los 90 dds (cm).....	36
Figura 15: Promedio de peso seco de hojas por tratamiento a los 90 dds (cm)	37
Figura 16: Promedio de pesos secos de tallos por tratamiento a los 90 dds (g).....	38
Figura 17: Promedio de pesos secos de raíces para los tratamientos a los 90 dds (g)	39
Figura 18: Promedio de pesos secos de raíces para los tratamientos a los 90 dds (g)	42

Figura 19: Índice de Cosecha	43
Figura 20: Polígono de crecimiento a los 30, 60 y 90 dds	45
Figura 21: Promedio de pesos frescos de hojas (gramos)	46
Figura 22: Promedio de pesos fresco de tallos por tratamiento (g).....	47
Figura 23: Promedio de pesos frescos de raíces para los tratamientos (g).....	48
Figura 24: Promedio de pesos frescos de tubérculos por tratamiento (g)	49
Figura 25: Tratamiento control a los 60 dds	52
Figura 26: Tratamiento N°1 a los 60 dds	52
Figura 27: Tratamiento N° 2 a los 60 dds	53
Figura 28: Tratamiento N° 3 a los 60 dds	53
Figura 29: Concentración de prolina	54
Figura 30: Concentración de clorofila A (mg de clorofila A/ g de tejido foliar fresco)	56
Figura 31: Concentración foliar de clorofila B (mg de clorofila B/ g de tejido foliar)	57
Figura 32: Concentración foliar de clorofila total (mg de clorofila total/ g de tejido foliar)	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Análisis de crecimiento, rendimiento y bioquímico.....	74
Anexo 1. 1:	Altura de la planta - 90 dds	74
Anexo 1. 2:	Número de tallos - 90 dds	74
Anexo 1. 3:	Número de hojas - 90 dds.....	75
Anexo 1. 4:	Longitud de raíz - 90 dds.....	76
Anexo 1. 5:	Peso seco hojas - 90 dds	76
Anexo 1. 6:	Peso seco tallos - 90 dds.....	77
Anexo 1. 7:	Peso seco raíz - 90 dds	77
Anexo 1. 8:	Peso seco tubérculos - 60 dds.....	78
Anexo 1. 9:	Peso seco tubérculos - 90 dds.....	79
Anexo 1. 10:	Índice de Cosecha - 60 dds.....	79
Anexo 1. 11:	Índice de Cosecha - 90 dds.....	80
Anexo 1. 12:	Peso fresco hojas 30 dds.....	80
Anexo 1. 13:	Peso fresco hojas 60 dds.....	81
Anexo 1. 14:	Peso fresco hojas 90 dds.....	82
Anexo 1. 15:	Peso fresco tallo 30 dds	82
Anexo 1. 16:	Peso fresco tallo 60 dds	83
Anexo 1. 17:	Peso fresco de tallo 90 dds	83
Anexo 1. 18:	Peso fresco de raíz 30 dds	84
Anexo 1. 19:	Peso Fresco de raíz 60 dds	85
Anexo 1. 20:	Peso fresco de la raíz 90 dds	86
Anexo 1. 21:	Peso fresco de tubérculos 60 dds.....	87
Anexo 1. 22:	Peso fresco de tubérculos 90 dds.....	88

Anexo 1. 23: Concentración de prolina foliar	89
Anexo 1. 24: Concentración de clorofila A foliar	89
Anexo 1. 25: Concentración de clorofila B foliar	90
Anexo 1. 26: Concentración de clorofila total	90
Anexo 1. 27: Correlación	91
Anexo 1. 28: Determinación Cuantitativa de las clorofilas- Método acetónico	
Estándar	91
Anexo 1. 29: Análisis de concentración de prolina	92
Anexo 2: Análisis de Suelo	93
Anexo 3: Datos Climáticos (Observatorio Alexander Von Humboldt UNALM)	94

RESUMEN

La papa es el cultivo más importante de raíces y tubérculos en todo el mundo y se cultiva en más de 125 países (NeBambi, Ortiz, Haverkort, & Caldiz, 2009). La papa es un cultivo sensible a la sequía y a elevadas temperaturas. Por ello, frente al cambio climático acelerado, urgen medidas para reducir los efectos del estrés hídrico y térmico en cultivo de papa. El mulch amortigua la amplitud térmica y retiene humedad en el suelo. El objetivo del presente trabajo es evaluar si la presencia del mulch de césped en diferentes grosores ofrece un mayor rendimiento y reducción de los efectos fisiológicos relacionados al estrés térmico e hídrico en el cultivo de papa "*Solanum tuberosum*". El material vegetal utilizado fue tubérculos brotados de papa variedad "Canchán", sembrados de manera directa en suelo enriquecido y sometidos a un escaso riego controlado. El diseño experimental utilizado fue diseño de bloques completamente al azar (DBCA), se cultivaron 120 plantas de papa, separados en tres bloques con cuatro tratamientos y diez repeticiones durante un periodo de 120 días. Las variables respuestas fueron altura de la planta, número de tallos, número de hojas, longitud de la raíz, peso seco, peso fresco, análisis de clorofila, análisis de prolina, adicionalmente se evaluó la geotemperatura y humedad gravimétrica a diferentes profundidades. Los datos obtenidos fueron analizados por análisis de varianza simple (ANOVA), la prueba de Tukey y/o la prueba de Friedmann, donde se obtuvo diferencias significativas en varias variables respecto a los tratamientos aplicados. Se concluyó que el mejor grosor de mulch de césped seco para reducir el estrés hídrico y térmico son 5 cm y 7,5 cm de grosor, además las variables peso seco de hojas, tallo y concentración de prolina foliar, son buenos indicadores del grado de incidencia del estrés.

Palabras claves: mulch, estrés, "*Solanum tuberosum*", geotemperatura, humedad

ABSTRACT

Potatoes are the most important root and tuber crop in the world and is farmed in more than 125 countries (NeBambi et al., 2009). The potato is a crop sensitive to drought and high temperatures. Therefore, in the face of accelerated climate change, measures are urgently needed to reduce the effects of drought and thermal stress on potato crops. The mulch reduces the thermal amplitude and retains moisture in the soil. The objective of this work is to evaluate whether the presence of grass mulch in different thicknesses offers a higher yield and a reduction of the physiological effects related to thermal and water stress in the potato crop "*Solanum tuberosum*". The plant material used was sprouted tubers of potato variety "Canchán", sown directly in enriched soil and subjected to poor controlled irrigation. The experimental design used was a completely randomized block design (DBCA), 120 potato plants were grown, separated into three blocks with four treatments and ten repetitions during a period of 120 days. The response variables were plant height, number of stems, number of leaves, root length, dry weight, fresh weight, chlorophyll analysis, proline analysis, additionally the geotemperature and gravimetric humidity were evaluated at different depths. The data obtained were analyzed by simple analysis of variance (ANOVA), Tukey's test and / or Friedmann's test, where significant differences were obtained in several variables with respect to the applied treatments. It was concluded that the best thickness of dry grass mulch to reduce drought and thermal stress is 5 cm and 7.5 cm thick, in addition to the variables dry weight of leaves, stem and concentration of foliar proline, are good indicators of the degree of incidence of stress.

Keywords: mulch, stress, "*Solanum tuberosum*", geotemperature, humidity

I. INTRODUCCIÓN

Las áreas territoriales del Perú se enfrentan ante un creciente proceso de desertificación. La Cuarta Comunicación Nacional del Perú a la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, publicada en 2011, señala que cerca de la tercera parte de la superficie del Perú se halla en algún estado de desertificación ya sea como zona desertificada (3,01 por ciento de la superficie total), o en proceso de desertificación (23,75 por ciento de la superficie total) (Morales et al., 2013). Adicionalmente, los modelamientos al 2030, arrojan una tendencia al incremento de alrededor de 1,5 °C en las temperaturas máxima y mínima a escala nacional, un incremento en los niveles de precipitaciones medias de hasta un 10 por ciento en la zona norte del Perú y una disminución del 10 por ciento en el sur peruano (Boza, 2014).

Por lo expuesto, la agricultura presentarán grandes adversidades en cantidad, calidad e intensificación de la producción, para hacer frente a una creciente demanda de recursos de primera necesidad, que abastecen la canasta básica de alimentos y, por ende, de la Seguridad Alimentaria familiar y nacional, motivado por la sobrepoblación en el Perú; el cual se pronostica que para el 2050, el Perú tendrán 40 millones de habitantes (Aramburú y Mendoza, 2015).

Entre los principales productos agrícolas del Perú, destaca la papa. La papa es el cuarto cultivo más consumido en el mundo luego del trigo, maíz y arroz, a los que supera en valor nutricional (Maza, 2011). A nivel nacional, su valor económico representa el 8 por ciento del PBI agropecuario, siendo cultivado en 19 regiones del país (Maza, 2011). Por lo que, se requiere medidas para favorecer el potencial de la agricultura de una forma resiliente y asequible para el agricultor andino.

El mulch orgánico representa una favorable medida, frente al estrés hídrico y térmico del cultivo de papa; ya que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reduce la erosión del suelo, disminuye la evaporación del suelo, modifica la temperatura del suelo y permite controlar las malezas (Janick et al., 1986, citado por Bhardwaj, 2013).

Además, el mulch orgánico es de bajo costo, pero se debe contar con una cantidad grande de material orgánico (Ucles, 2011).

El presente estudio permitirá conocer si la presencia del mulch de césped en diferentes grosores ofrece un mayor rendimiento y reducción de los efectos fisiológicos relacionados al estrés térmico e hídrico en el cultivo de papa "*Solanum tuberosum*", adicionalmente evidenciar si el aumento del grosor de la capa de mulch, reduce la geotemperatura y se favorece la retención de humedad en suelo.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. CULTIVO DE PAPA

2.1.1. Generalidades del cultivo

La papa es esencialmente “un cultivo de clima fresco”, siendo la temperatura el principal factor limitante. En áreas tropicales, la papa debe crecer donde el clima es templado, a gran altitud (1,500 – 4,200 m.s.n.m), o en altitudes más bajas siempre que se cultive durante la temporada fría (NeBambi, Ortiz, Haverkort y Caldiz, 2009).

La papa es el cultivo más importante de raíces y tubérculos en todo el mundo. Se cultiva en más de 125 países y se consume casi diariamente por más de mil millones de personas. Cientos de millones de personas en los países en desarrollo dependen de las papas para su supervivencia (NeBambi et al., 2009).

La producción de papa a nivel mundial, según estadísticas de la FAO, llegó a 381,7 millones de toneladas en el 2014. La producción del Perú en el 2014 ocupó el lugar 14, con una producción de 4´704,987 de toneladas. El Perú, ocupó el octavo lugar en el mundo respecto a la superficie cosechada con un área de 318,380 hectáreas (www.minga.gob.pe).

Por zonas de producción en el Perú, el 47,1 por ciento de la producción nacional corresponde al conjunto de regiones de la Zona Sierra Sur del país (Puno, Apurímac, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna), el 28,5 por ciento al conjunto de regiones de la Zona Sierra Centro (Huánuco, Junín, Huancavelica y Pasco), el 20,3 por ciento pertenece al grupo de regiones la Zona Sierra Norte (La Libertad, Cajamarca, Ancash, Amazonas, Piura y Lambayeque); y, el 4,1 por ciento restante, a la producción de las regiones de la Zona Centro Costa (Lima e Ica) (www.minga.gob.pe).

2.1.2. Requerimiento hídrico

La humedad del suelo, capacidad de retención, etapa de crecimiento del cultivo, el factor atmosférico y enraizamiento son importantes en los cultivares por lo que debe basarse la programación del riego en función a estos factores.(Begum, Saikia, Sarmah y Ojah, 2018)

El cultivo de papa es particularmente sensible a la sequía (Yuan et al., 2003, citado en Lozano, 2015, pag. 18). En consecuencia, requiere un adecuado riego para mantener el rendimiento y la calidad de los tubérculos (Porter et al., 1999; Fabeiro et al., 2001, citado en Lozano, 2015).

En general, el déficit de agua en la parte tardía del período de crecimiento del cultivo de papa tiende a reducir el rendimiento, de manera más severa que en etapas tempranas. Para optimizar el rendimiento total del agua disponible en el suelo no debe ser agotado por más de 30 a 50 por ciento de contenido de humedad en suelo (Lozano, 2015).

2.1.3. Requerimiento de Fertilización en Suelo

Las plantas se desarrollan adecuadamente en suelos de textura moderadamente gruesa (franco arenoso) y media (franco limoso, franco) y bien drenados. Rango de pH óptimo del suelo es de 5,5 a 6,5. Contenido de materia orgánica debe ser alto (>4 por ciento) (Senamhi, 2015).

Mamani (2000), encontró que el efecto de una sequía temprana (sequía pre-tuberización), ocasionaba tubérculos más pequeños tanto en variedades sensibles como en tolerantes, en referencia a una sequía tardía (sequía aplicada un mes después de la tuberización).

La disponibilidad de nutrientes en cantidad y momentos adecuados, es necesario para proveer un crecimiento óptimo del follaje y los tubérculos. La mayor cantidad de nutrientes se requiere durante el llenado de los tubérculos y se detiene durante la madurez de los mismos (Huarte y Apezio, 2013).

El suministro de nutrientes de las plantas a un nivel óptimo y minimización de las pérdidas de nutrientes por exceso de fertilización, es necesario para mantener una productividad deseada (Trehan et al., 2008).

2.1.4. Requerimientos climáticos

Los valores térmicos óptimos en la etapa de emergencia están entre los 17°C y 25°C, el crecimiento vegetativo entre los 15°C y 25°C y la tuberización está directamente relacionada con la translocación y acumulación de fotosintatos en los tubérculos, siendo los valores óptimos de 14 a 20°C (Senamhi, 2015).

Temperaturas mayores a 28°C inhiben la tuberización y, si se mantiene constante durante el tiempo de tuberización, es posible que no haya formación de estolones y los estolones crezcan de forma engrosada (Senamhi, 2015).

La papa es una planta de día corto. Por consiguiente, el brillo solar requerido por las plantas se encuentra alrededor de 10 y 12 horas de sol por día (Senamhi, 2015).

Ambientes cálidos tropicales en general se definieron como los que tienen una duración de horas de luz de 10-14. La elevada temperatura fue considerada como la causa principal de bajos rendimientos en climas cálidos (Bowen, 2003).

2.2. ESTRÉS

Un enfoque común en la biología vegetal en el ecosistema y todo el nivel de la planta que se ajusta a la recomendación anterior es considerar como factor estresante cualquier situación donde las restricciones externas limitan la tasa de producción de materia seca de la totalidad o parte de la vegetación por debajo de su potencial (Grime, 1,979, como se cita en Jones, Flowers y Jones, 1989). Incluso una pequeña diferencia en la tasa de crecimiento puede tener un efecto dramático en el crecimiento y la capacidad competitiva de una planta. (Jones et al., 1989).

Lichtenthaler, (1996), menciona al estrés como « *cualquier condición o sustancia desfavorable que afecte o bloquee el metabolismo, crecimiento o desarrollo de una planta* » (Kranner, Minibayeva, Beckett y Seal, 2010).

Larcher, (1980), lo define como « *cambios en la fisiología que ocurre cuando las especies están expuestas a condiciones desfavorables condiciones que no necesitan representar una amenaza para la vida pero inducirá una respuesta de alarma* » (Gaspar et al., 2002).

Existen tres escalas temporales en la respuesta de las plantas al estrés:

- Respuesta al estrés: es el efecto inmediato, ocurre en una escala de segundos a días.
- Aclimatación: es el ajuste morfológico y fisiológico realizado por la planta (como individuo), para compensar la disminución en el rendimiento.
- Respuesta inicial al estrés: es el cambio que ocurre en respuesta al cambio ambiental a través de cambios en la actividad o síntesis de nuevos compuestos bioquímicos. Ocurre en una escala de días a semanas.
- A mayores escalas de tiempo:
- Adaptación: es la respuesta evolutiva que resulta de cambios genéticos en las poblaciones, por lo que difiere de la aclimatación. Ocurre en una escala temporal mucho mayor que la aclimatación, usualmente muchas generaciones (Lambers, Chapin y Pons, 2008).

2.2.1. Estrés Abiótico

La exposición de las plantas al estrés biótico y abiótico induce una interrupción en el metabolismo de la planta que implica costos fisiológicos y, por lo tanto, conduce a una reducción en aptitud y, finalmente, en productividad (Rejeb, Pastor y Mauch-Mani, 2014).

El estrés abiótico es una de las características más importantes que tiene un gran impacto en el crecimiento y, en consecuencia, es responsable de pérdidas severas en el campo. Las reducciones de crecimiento resultante de este tipo de estrés puede alcanzar más del 50 por ciento en la mayoría de las especies de plantas (Rejeb et al., 2014).

Incluye deficiencias o excesos de agua, extremos de irradiancia, temperaturas muy bajas o altas, deficiencias o excesos de varios nutrientes, macro y micronutrientes, alta salinidad y extremos de pH del suelo (Rhodes y Nadolska, 2001).

Los estreses abióticos también pueden incluir tensiones mecánicas (por ejemplo, viento, granizo, impedancia mecánica, crecimiento de la raíz en suelos compactados) y las tensiones asociadas con los productos químicos tóxicos fabricados por el hombre, incluidos contaminantes gaseosos (dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono) y metales pesados (Rhodes y Nadolska, 2001).

La mayoría de las condiciones de estrés causan, como efecto secundario, la generación de especies reactivas del oxígeno (EROs), es decir, generan estrés oxidativo; en consecuencia, la activación de los sistemas antioxidantes es también una respuesta general al estrés en las

plantas. Estos antioxidantes incluyen una amplia variedad de productos químicos (glutati3n reducido, carotenoides, vitaminas E y C, flavonoides y otros fen3licos compuestos, etc.) y varios sistemas enzimáticos (super3xido dismutasa, catalasa, ascorbato peroxidasa, glutati3n peroxidasa, glutati3n reductasa, etc.) (Boscaiu et al., 2008).

La respuesta al estr3s se basa en la s3ntesis de mol3culas protectoras, incluyendo solutos compatibles de bajo peso molecular u osmolitos (az3cares, polialcoholes, amino3cidos tales como prolina, compuestos de amonio cuaternario, etc.) y diferentes tipos de prote3nas (prote3nas de choque t3rmico, prote3nas LEA, osmotina, etc.) (Boscaiu et al., 2008).

2.2.2. Estr3s T3rmico

Estudios del Centro Internacional de la Papa (CIP), en los 3ltimos 10 a3os, basados en encuestas a productores de papas y en im3genes satelitales, revelan que durante los 3ltimos 30 a3os, los agricultores peruanos de las zonas andinas han tenido que trasladar sus cultivos hacia 3reas de mayor altitud. Esto, con el objetivo de escapar del aumento de enfermedades y plagas, debido al alza t3rmica. Sin embargo, si el cambio clim3tico sigue este ritmo, los productores de papas no tendr3n tierras a mayor altitud donde cultivar (CIP, 2012, citado en Pino, 2016).

El escenario del cambio clim3tico a los pr3ximos 50 a3os, s3lo basado en los cambios de temperatura, proyecta que el cultivo de papa experimentar3a una disminuci3n de sus rendimientos, entre 18 y 33 por ciento, si no se toman las medidas de adaptaci3n necesarias frente al nuevo escenario. Sin embargo, estas p3rdidas podr3an ser significativamente menores - hasta en un 9 por ciento - si se implementan medidas de adaptaci3n (Hijmans, 2003; Schafleitner et al., 2011, citado en Pino, 2016).

La papa requiere clima templado. Las temperaturas de 5 a 21 3C son ideales para su desarrollo y producci3n. El desarrollo de la planta es muy lento en temperaturas relativamente bajas. Las temperaturas medias diarias (d3a y noche) de m3s de 21 3C, son presumidas como demasiado calientes para el crecimiento de la papa (Haverkort et al., 2008, citado en Teixeira, Pinto, Lepre, Peixouto y Ribeiro, 2015).

El estr3s por calor afecta diferencialmente la estabilidad de varias prote3nas, membranas, ARN, estructuras del citoesqueleto y altera la eficacia de las enzimas (Hasanuzzaman, Nahar, Alam, Roychowdhury y Fujita, 2013).

Las altas temperaturas diurnas pueden dañar los componentes de fotosíntesis de la hoja mediante la reducción de las tasas de asimilación de dióxido de carbono. Debido en gran parte al daño a los constituyentes del fotosistema II colocados en las membranas tilacoides del cloroplasto. (Blum 1988, citado en Hemantaranjan et al., 2014).

El estrés térmico incrementa la fluidez de la membrana, lo que genera una reducción de la humedad (Xiong et al. 2002, citado en Lambers, Chapin y Pons, 2008, pag 241). Por ello, se produce un cierre estomático, por lo que la enzima Rubisco es notoriamente ineficiente como catalizador para la carboxilación de Ribulosa-1,5-bifosfato(RuBP) está sujeto a inhibición competitiva por O₂ (Hemantaranjan et al., 2014).

Algunos mecanismos importantes de tolerancia al estrés térmico, incluyen los transportadores de iones, proteínas LEA, osmoprotectores, defensa antioxidante (Wang, Vinocur y Shoseyov 2004, citado en Hemantaranjan et al., 2014).

Las proteínas de choque térmico pueden estar involucradas en la protección del aparato fotosintético y prevenir la fotooxidación (Xiong et al. 2002, citado en Lambers, Chapin y Pons, 2008, pag 241), promovido por la producción de especies reactivas del oxígeno (EROs) (Hemantaranjan et al., 2014).

Temperatura muy elevadas, genera un aumento la respiración de la planta y reduce la fotosíntesis, lo que disminuye el rendimiento del cultivo (Ibrahim y Ibrahim, 2005). El estrés por calor afecta todos los aspectos de los procesos de la planta como la germinación, el crecimiento, desarrollo, reproducción y rendimiento (Hasanuzzaman et al., 2013).

2.2.3. Estrés hídrico

Mientras en zonas mediterráneas y tropicales se proyecta una disminución en las precipitaciones, en zonas áridas los periodos de sequía serían más frecuentes e intensos (IPCC, 2007; IPCC, 2013, citado en Lozano, 2015). En áreas impactadas por el fenómeno de “El Niño”, se ha notado que las fases de sequía están siendo más severas y las precipitaciones se concentran en cortos períodos, causando inundaciones y otros problemas.

El agua, que comprende 80-90 por ciento de la biomasa de plantas no leñosas, es la molécula central en todos los procesos fisiológicos de las plantas siendo el medio principal para el transporte metabolitos y nutrientes (Seved, Motafakkerazard, Hossain y Rahman, 2012).

Las respuestas de las plantas al estrés hídrico están controladas por eventos reguladores complejos mediados por la señalización del ácido abscísico (ABA), el transporte de iones y las actividades de los factores de transcripción (TF) se encuentran implicados en la regulación de las respuestas estomáticas. Estos eventos están integrados en redes moleculares interconectadas, que permite a las plantas adaptarse y sobrevivir (Osakabe, Osakabe, Shinozaki y Tran, 2014).

En respuesta al estrés por sequía, el ácido abscísico (ABA) estimula una vía de señalización que desencadena la producción de especies reactivas de oxígeno (EROs), que a su vez induce un aumento en el Ca^{2+} citosólico, esto conduce a un cierre en los canales de K^+ hacia el interior y H^+ -ATPasa, que están involucrados en la apertura de los estomas (Schroeder y Hagiwara, 1989; Pei et al., 1997; Kwak et al., 2003; Negi et al., 2008; Vahisalu et al., 2008, citado en Osakabe et al., 2014). Esta disminución de apertura estomática y potencial hídrico, lleva a una baja regulación de los genes relacionados con la fotosíntesis y la reducción disponibilidad de CO_2 y, por lo tanto, reduce la actividad fotosintética (Osakabe et al., 2014).

El estrés hídrico en cultivo de papa dificulta la fotosíntesis, debido a la reducción de la síntesis de pigmentos de clorofila y una pérdida de la integridad de la membrana (Díaz, 2016). Además, el estrés hídrico, daña los pigmentos fotosintéticos y componentes celulares. Estos efectos pueden provocar la disminución de la expansión foliar y la senescencia prematura de la hoja (Reddy, Timlin y Fleisher, 2008; citado en Díaz, 2016).

El déficit de agua disminuye el número de hojas, peso de hojas, rendimiento, altura de la planta, peso de raíz y peso seco de la raíz en cultivos de papa (Hassanpanah, 2010).

2.3. MULCH

La cobertura vegetal también denominada mulch, amortigua la amplitud térmica, reduce la temperatura del suelo, la conductividad térmica y registra una alta reflectividad a los rayos solares (C. Sánchez, Souza, Menezes De Souza, Matura y Salamao de Freitas, 2010).

El mulch evita el incremento de la temperatura de la hoja y del CO_2 intercelular; impidiendo el cierre estomático y la reducción en la transpiración. Además, previene la evaporación del agua del suelo, por lo que reduce la temperatura del suelo (Amini y Alami-Milani, 2013).

El mulch al descomponerse libera nutrientes y reduce la pérdida de nutrientes por lixiviación y erosión, lo que provee un mayor crecimiento y rendimiento de tubérculos (Eruola, Bello, Ufoegbune y Makinde, 2012).

2.4. EVALUACIONES Y MEDICIONES PARA EL EVALUAR EL ESTRÉS HÍDRICO Y TÉRMICO

2.4.1. Pruebas bioquímicas

2.4.1.1. Análisis de Clorofila

Una hoja verde absorbe la luz azul (principalmente a 430 nm) y luz roja (principalmente a 660nm). (İnanç, 2011).

La clorofila es un pigmento verde que se encuentra en la mayoría de las plantas y su nombre se deriva de los cloros griegos (verde) y phyllon (hoja). Hay algunas formas diferentes de clorofila. La clorofila a (Chl a), de color amarillo verdoso en solución, es el pigmento fotosintético primario en las plantas verdes para la transferencia de energía de la luz a un aceptor químico. (İnanç, 2011).

Las plantas y las algas verdes (Chlorophyta) contienen además clorofila b (Chl b), una clorofila accesoria que solo se encuentra en los complejos de captación de luz periférica (LHC). (Wingsle, Öquist y Leverenz, 1992, como se citó en Eggink, Park y Hooper, 2001).

En general, se sabe que bajo estrés por sequía, la reducción de Chl b es mayor que la de Chl a, por lo tanto, transformando la relación a favor de Chl a (Jaleel et al. 2009, Jain et al. 2010, como se cita en Ashraf y Harris, 2013).

El fotosistema II (PSII) es muy sensible a una elevación de la temperatura de la hoja, con inhibición significativa en temperaturas ligeramente superiores a 32 °C. El fotosistema I no es afectado por la elevada temperatura; incluso a temperaturas severas de 45°C (Havaux, 1993).

El mal funcionamiento de la etapa del fotosistema II (PSII) , en diversas condiciones de estrés, induce varias especies reactivas del oxígeno (EROs) (Pospisil, 2009, como se cita en Yamamoto, 2016). Estas especies reactivas del oxígeno pueden reaccionar inmediatamente con las proteínas e inevitablemente dañarlas (Blubaugh y Cheniae, 1990; Klimov, 1990, Yamamoto, 2008; como se cita en Yamamoto, 2016).

La disminución de la concentración de clorofila, también se relaciona con el incremento de la actividad de la enzima clorofilasa (Eckardt, 2009, citado en Rodríguez, 2015).

La disminución en la fotosíntesis bajo restricción hídrica, también se ha asociado con la reducción en la concentración de clorofilas (Deeba et al., 2012, Mafakheri et al., 2011, Ghobadi et al., 2013, citado en Rodríguez, 2015), además de un descenso del color verde en la hoja y crecimiento de la hoja (Rodríguez, 2015).

2.4.1.2. Análisis de prolina

La prolina es un aminoácido proteinogénico con una gran rigidez conformacional. (Kemble, A., MacPherson, H. 1954, citado en, Savoure y Szabados, 2009).

La prolina funciona como osmoprotector, osmoregulador y secuestrador de especies reactivas de oxígeno (EROs) (Benavides et al., 2000, citación en Masoudi et al., 2011) ya que sirve como sumidero de energía para regular los potenciales redox, un secuestrador de radicales hidróxilo (Sharma y Dietz, 2006).

La prolina ha sido considerada durante mucho tiempo solo como osmolito compatible, se destaca además su labor en múltiples funciones de adaptación al estrés, recuperación y señalización. Está implicado en estabilización de proteínas y complejos de proteínas en el cloroplasto y citosol (Savoure y Szabados, 2009).

Una mayor concentración de prolina en la planta, genera una mayor elongación de hojas y además genera el mantenimiento de niveles necesarios de Ca^{2+} y K^+ , que es crucial para la diferenciación de las hojas de los tejidos de brotes inmaduros (Wahid, Rasheed, Farooq, Hussain y Basra, 2012).

La prolina mantiene el balance de agua celular y la estabilidad de la membrana (Farooq, Basra, Wahid, Cheema y Khaliq, 2008, como se cita en Bitá y Gerats, 2013).

2.4.2. Análisis Biométricos

Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, como la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular (Potters et al., 2007; Shao et al., 2008, citado en Moreno F, 2009).

No obstante, según (Tourneux, et al. 2003, citado en Díaz, 2016) , muchos caracteres fisiológicos de la planta de papa (como la resistencia de los estomas, fotosíntesis, contenido de agua de la hoja y el potencial hídrico de la hoja) y morfológicos o caracteres agronómicos (como índice de área foliar, senescencia foliar, cobertura vegetal, producción de materia seca, partición de asimilados a los tubérculos y componentes del rendimiento), son afectados por la escasez de agua y podrían ser utilizados como indicadores de los efectos de la sequía en el rendimiento.

La expansión celular y la integridad físico-química de la pared dependen del agua. Una lista de procesos que son regulados por el volumen celular y la hidrodinámica incluyen, además de los mencionados, exocitosis, endocitosis, cambios en la forma celular, señalización de hormonas, metabolismo, excitabilidad, migración celular, obtención de nutrientes, filtración de desechos, necrosis y apoptosis (Wehner et al., 2003; Zonia y Munnik, 2007).

En general, el cultivo de papa se desarrolla en forma óptima con temperaturas entre 14 y 22°C, encima de sobre estas temperaturas los rendimientos disminuyen significativamente, como resultado de la inhibición del crecimiento vegetativo de la planta, inhibición de la tuberización y disminución en la calidad del tubérculo (Van Dam et al., 1996).

III. METODOLOGÍA

3.1. MATERIALES

3.1.1. Equipos

- Balanza
- Estufa
- Centrífuga
- Vortex
- Tubos de centrífuga
- Refrigeradora
- Morteros de porcelana
- Termistores (50 unidades)
- Voltímetro
- Cilindros metálicos (12 unidades)
- Termómetro

Otros:

- Filtro
- Pinzas
- Sacabocado
- Probeta
- Tubos de Ensayo

3.1.2. Reactivos

- Acetona 90 por ciento
- Papel Filtro
- Ácido Sulfosalicílico dihidratado
- Ninhidrina ácida

- Ácido acético glacial
- Tolueno
- Agua destilada

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Lugar de Ejecución del Experimento

El presente experimento se realizó en el jardín Botánico “Octavio Velarde Núñez” de la UNALM en un área asignada para tal fin, entre los meses de Enero y Abril del año 2019. La ubicación geográfica del jardín botánico es: Latitud Sur 12° 4'40.76”, Longitud Oeste de Greenwich 76°56'40.32" y altitud 255 msnm.

El material vegetal consistió en tubérculos brotados de papa Variedad “Canchán” obtenido del laboratorio de Fisiología Vegetal.

Los tubérculos brotados de papa en invernadero fueron sembrados de forma directa en bolsas de plástico de 20 litros de capacidad, sobre un sustrato a base de tierra vegetal, tierra de chacra y estiércol seco de caballo, en las proporciones 2,9: 2,9: 1.0

Se cultivaron 120 plantas de papa, separados en tres bloques con cuatro tratamientos y diez repeticiones. Cada tratamiento tuvo las mismas condiciones de nutrición, riego y repelente; solo difiriendo en el grosor de mulch.

El mulch fue obtenido del césped podado y picado del jardín botánico de la UNALM “Octavio Velarde Núñez”, posteriormente se secó por dos semanas mediante su exposición a la luz solar para evitar la adición de humedad al suelo de los tratamientos.

Características de la parcela experimental:

- Longitud: 3.4 m
- Ancho: 2 m
- Área total: 6.8 m²
- Área bolsa: 322 cm²
- Volumen: 12880 cm³
- Número de plantas por fila: 5
- Número de filas por grupo: 8
- Número de grupos: 3

3.2.2. Arreglo en campo

Los tubérculos de papa se sembraron en bolsas plásticas de 20 litros, de medidas 68 cm x 50 cm. En cada bolsa, se sembró un tubérculo.

Se dividieron en tres grupos; cada grupo se dispuso en cuatro tratamientos. Cada tratamiento, se arregló en diez repeticiones. Los tratamientos se dividieron de manera aleatoria.

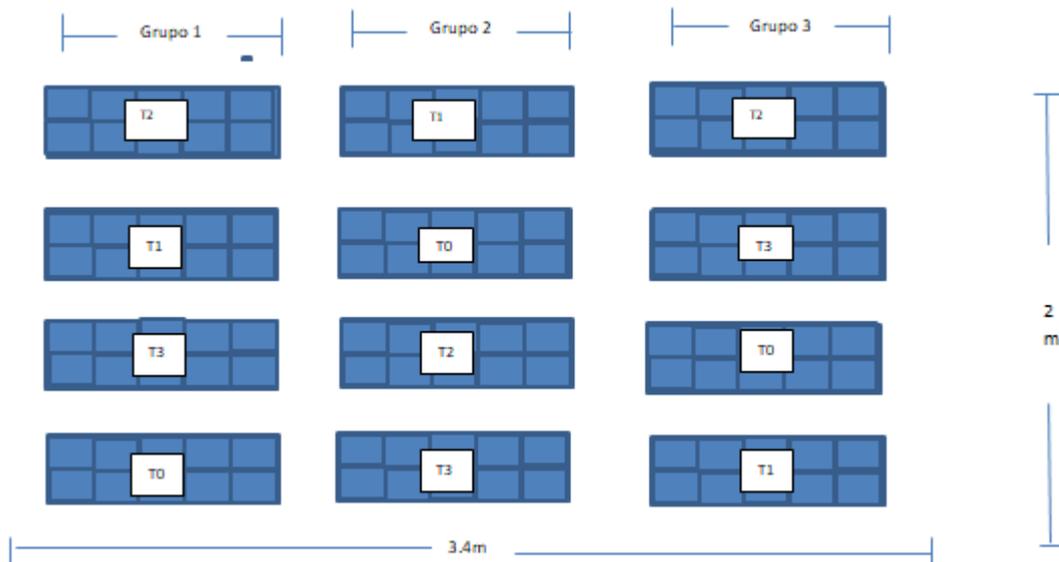


Figura 1: Distribución al azar de los tratamientos en el campo

Tratamientos:

- T1: Suelo desnudo
- T2: Mulch de césped seco (5 cm de grosor)
- T3: Mulch de césped seco (7.5 cm de grosor)
- T4: Mulch de césped seco (10 cm de grosor)



Figura 2: Campo Experimental

Después de tres semanas de la siembra, se agregó en la capa superficial del suelo, las diferentes cantidades de mulch, correspondiente a su respectivo tratamiento.

3.2.3. Instalación de equipos

3.2.3.1. Geotemperatura

Se colocaron los termistores a una profundidad de 0 cm, 2 cm, 12 cm y 25 cm de la superficie, posteriormente cubriéndolo. La colocación se realizó sólo en una bolsa de cada tratamiento del grupo II y el grupo III, ubicados en la parte central del campo experimental.



Figura 3: Termistores a 0 cm, 2 cm, 12 cm y 25 cm de profundidad

3.2.3.2. Humedad

Se determinó la humedad mediante el uso de un cilindro metálico, el cual se introdujo en el suelo entre los 0- 15 cm y 15-30 cm de profundidad.



Figura 4: Extracción de suelo para la evaluación humedad gravimétrica

Metodología para calcular Humedad Gravimétrica

1. Se extrae una muestra de la capa de suelo, mediante el uso de cilindros metálicos con volumen mayor a 100 cm³.
2. El equipo de muestreo debe estar lo más seco posible, debido a que altera la humedad del suelo extraído. Se limpia cuidadosamente para eliminar los sobrantes de suelo de los bordes del cilindro con ayuda de un cuchillo.
3. Las muestras fueron guardadas en papel aluminio y bolsas plásticas cerradas herméticamente para su transporte al laboratorio.
4. Se pesaron con la humedad de campo y se colocaron en una estufa a 55°C por 72 horas.
5. Se vuelve a pesar y se determina la diferencia de pesos.
6. La humedad gravimétrica es la diferencia entre el peso húmedo del suelo y peso del suelo seco con respecto a 100 g de la muestra previamente mencionada. (Largaespada y Henríquez, 2015).

$$\text{Humedad gravimétrica} = \frac{\text{Masa del suelo húmedo} - \text{Masa del suelo seco} \times 100}{\text{Masa del suelo seco}}$$

3.2.4. Manejo del cultivo

3.2.4.1. Composición del Suelo

El suelo estuvo compuesto de un 15 por ciento de estiércol seco de caballo 42.5 por ciento de tierra de cultivo y 42.5 por ciento de tierra vegetal.

3.2.4.2. Análisis de suelo

El análisis de suelo empleado para los distintos tratamientos, determinó:

- pH ligeramente ácido;
- C.E. muy alto por una elevada concentración de Cationes (sodio, magnesio, calcio y potasio) y Aniones (sulfato, cloruro, carbonatos y bicarbonatos);
- Textura Franco Arenosa;
- Alto porcentaje en M.O., Potasio, Fósforo, Calcio, Magnesio,
- Moderado porcentaje en Sodio;
- Nulo porcentaje en Aluminio
- Alta Capacidad de Intercambio Catiónico.

Esto permitió inferir un suelo con alta concentración de sales minerales; sin embargo, el elevado porcentaje de materia orgánica, retuvo el exceso de su concentración (Anexo 2).

El suelo empleado en todos los tratamientos evidenció un sometimiento a la planta de papa a un estrés salino, adicional al estrés térmico, hídrico y biótico.

3.2.4.3. *Nutrición Mineral*

La nutrición mineral se realizó antes de la siembra. El requerimiento nutricional para un crecimiento adecuado del cultivo de papa, es de Nitrógeno (N): 180 kg/ha.; Potasio (K₂O): 160 kg /ha.; Fósforo (P₂O₅): 150 kg/ha.

Mediante el uso de la metodología de Alva (1970), para un adecuado crecimiento de la planta de papa, el campo experimental se enriqueció con nitrato de amonio, sulfato de potasio y superfosfato triple simple.

La dosis nutricional se realizó antes de la siembra, mezclando los nutrientes con el suelo de las bolsas. El aporque se realizó al alcanzar las plantas los 25 cm de altura.

Tabla 1: Fertilizantes químicos empleados en el enriquecimiento mineral del suelo por repetición.

Requerimiento nutricional				
	m²	N(g)	P(g)	K (g)
Área experimental (m ²)	0.032	0.576	0.512	0.48

Nitrato de Amonio= 33.5 por ciento Nitrógeno

Sulfato de Potasio= 41.5 por ciento Potasio

Superfosfato triple simple = 20 por ciento de Fósforo

3.2.4.4. *Riego*

Se realizó un riego uniforme localizado en los suelos de cada bolsa, independientemente del tipo de tratamiento. El número de riegos durante la fase experimental fueron realizados en intervalos de 6 a 8 días. Durante el primer estadio, el volumen de agua requerido fue menor.

La fase experimental que corresponde desde la tuberización hasta la madurez completa, presenta un mayor requerimiento hídrico (M. Sánchez y Meza, 2,015).

Los datos de evapotranspiración potencial fueron tomados del Observatorio Von Humboldt (OVH) durante los meses Enero, Febrero, Marzo y Abril del año 2,019, en los meses correspondientes al desarrollo del cultivo.

El suelo del campo experimental para el crecimiento idóneo de la papa fue de textura franco arenoso. Presentó una densidad absoluta de 1,56 gramos por cm^3 . La humedad libremente disponible en el suelo fue 140

mm por metro de profundidad. La humedad volumétrica del suelo promedio en capacidad de campo es $23,43 \text{ cm}^3$ de agua por 100 cm^3 de suelo y, en el punto de marchitez es 9,43 (M. Sánchez y Meza, 2,015).

Los valores del coeficiente de cultivo (K_c) y los valores de la fracción P (relación entre el agua disponible en el suelo y el agua libremente disponible para la planta), como función del grupo de cultivo y la evapotranspiración máxima varían a lo largo de los meses de evaluación (García, 1,992).

En la evaluación práctica administrado por cada planta, solo se aplicó la tercera parte del riego establecido en el cuadro de la Figura 4.; de esta manera, se sometió a una evaluación de resistencia frente al estrés hídrico y térmico.

Solo durante las primeras tres semanas se administró el riego establecido en el cuadro previamente mencionado, ya que, a partir de la tercera semana, se adicionó las distintas concentraciones del mulch

La tabla N 2 indicó la necesidad de riego óptima durante el periodo entre Enero y Mayo, basado en las ecuaciones de demanda hídrica de la planta por García, (1,992).

Tabla 2: Evaluación de la humedad volumétrica en capacidad de campo, punto de marchitez y volumen de agua libre disponible en el suelo para el crecimiento óptimo del cultivo de papa.

Inicio	Fin	N° Días	θ_{cc} % (*)	θ_{pmp} % (**)	Zr (***)	AD (****)	P (*****)	ALD (*****)
18/01/19	11/02/19	25	21.05	10.577	15	15.71	0.5	7.85
12/02/19	13/03/19	30	21.05	10.577	15	15.71	0.5	7.85
14/03/19	12/04/19	30	21.05	10.577	15	15.71	0.425	6.68
13/04/19	12/05/19	20	21.05	10.577	30	31.42	0.425	13.35

(*) Humedad promedio del suelo en capacidad de campo en por ciento.

(**) Humedad promedio del suelo en el punto de marchitez en por ciento.

(***) Profundidad efectiva del sistema radicular en cm

(****) Agua disponible en el suelo en mm.

(*****) Relación entre AD y ALD

(*****) Agua libremente disponible en el suelo para la planta en mm.

Tabla 3: Evaluación de frecuencia de riego y volumen de riego necesario para el crecimiento óptimo del cultivo de papa por repetición.

Inicio	Fin	N° Días	Eo (mm)	Kc (*)	Em (mm)	Fr (ALD/Em) (**)	Área (cm ²)	Área x ALD/10 (***)	L (****)
18/01/19	11/02/19	25	2.691	0.45	1.21	6.49	322	252.923	0.253
12/02/19	13/03/19	30	3.180	0.75	2.39	3.29	322	252.923	0.253
14/03/19	12/04/19	30	3.063	1.15	3.52	1.90	322	214.985	0.215
13/04/19	12/05/19	25	2.706	0.85	2.30	5.81	322	429.969	0.430

(*) Coeficiente de cultivo

(**) Frecuencia de Riego en días.

(***) Riego por planta en cm³.

(****) Riego por planta.

La tabla 4 indicó la tercera parte del volumen de riego óptimo en cultivo de papa variedad “Canchan” administrado durante el periodo de evaluación.

Tabla 4: Volumen de riego administrado durante el periodo de estrés en cultivo de papa variedad “Canchan” por repetición

Nº Días	Frecuencia riego redondeado en días	Litros de riego por planta	Mililitros de riego por planta	Mililitros de riego por planta sometida a estrés
25	6	0.234	234	78.0
30	4	0.307	307	102.4
30	2	0.227	227	75.6
20	6	0.444	444	148.1

3.2.4.5. *Humedad Gravimétrica*

La figura N°5 y N°6, representa la humedad gravimétrica promediada para cada mes a las 10 a.m., en diferentes profundidades (5 cm y 15 cm). En los tratamientos con mulch, se presentó una similar humedad gravimétrica promedio mensual. Los tratamientos T1, T2 y T3 generaron una mayor retención de humedad del suelo en cultivo de papa, cercana a 20 g de H₂O/g de suelo seco; a comparación del tratamiento control que presentó una humedad gravimétrica cercana a 5 g de H₂O/g de suelo seco.

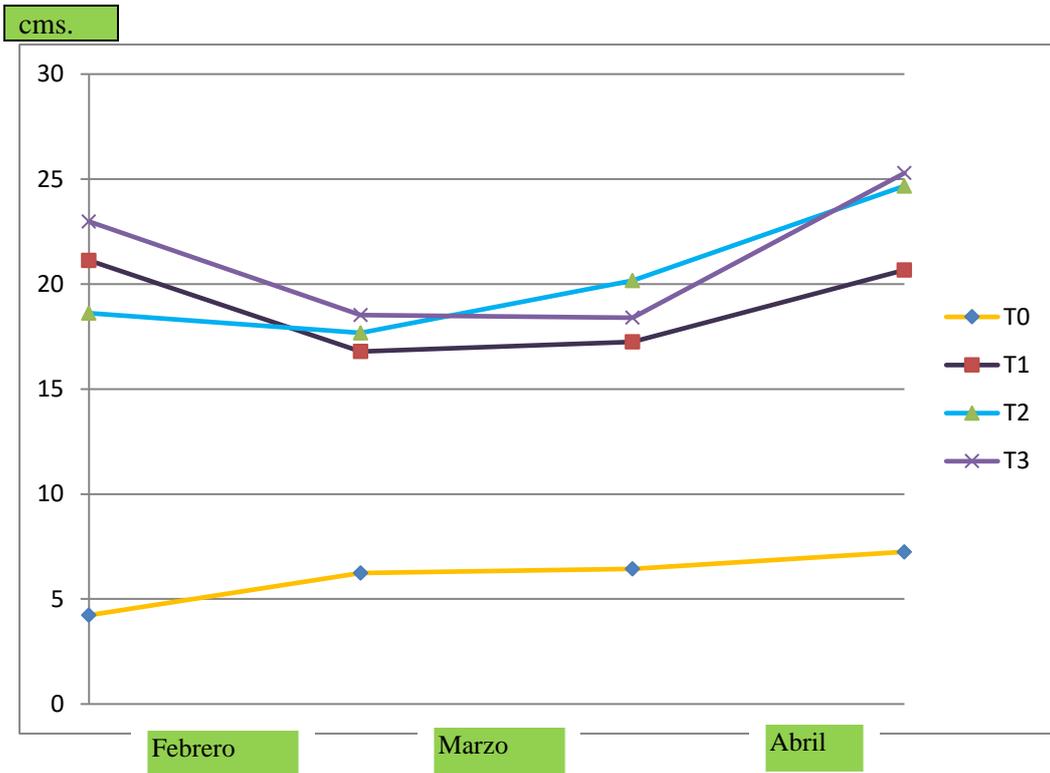


Figura 5: Humedad gravimétrica (g de H₂O/ g de suelo seco) a 5 cm de profundidad en los diferentes tratamientos.

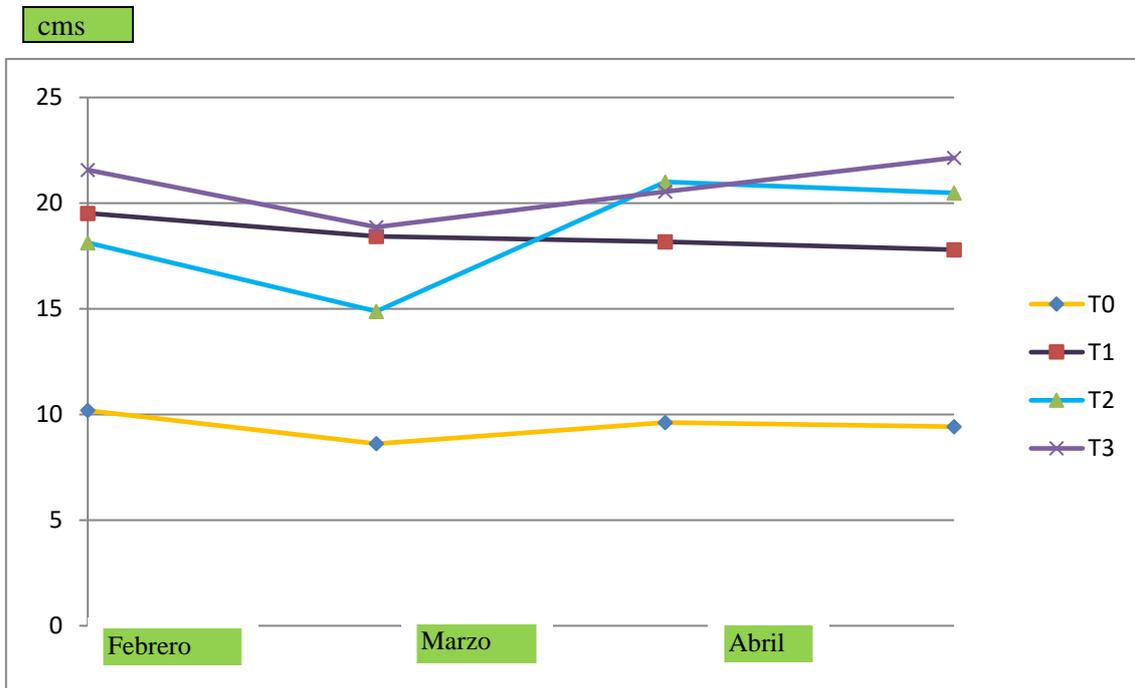


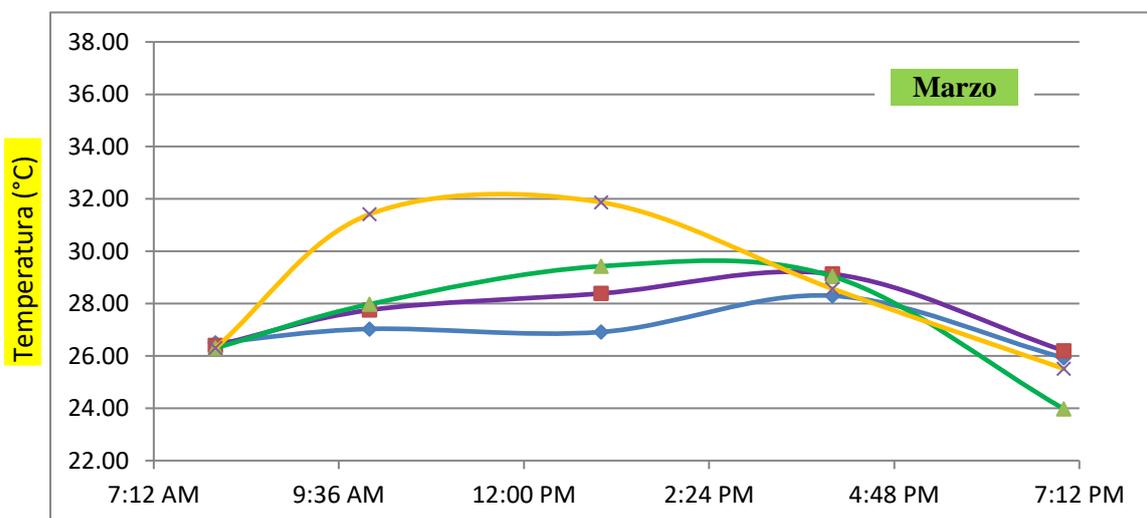
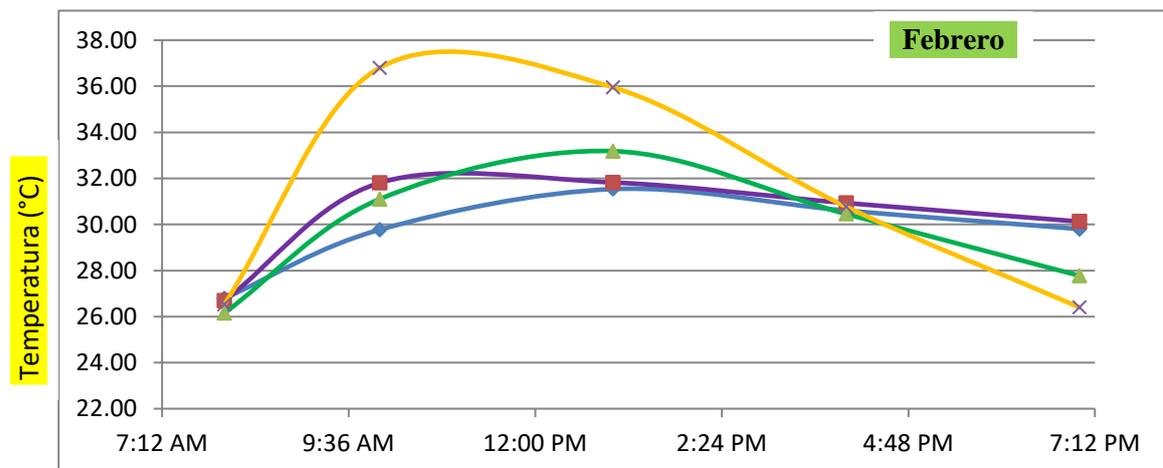
Figura 6: Humedad gravimétrica (g de H₂O/ g de suelo seco) a 15 cm de profundidad en los diversos tratamientos

3.2.4.6 Geotemperatura

El verano del año 2019 en Lima evidenció una elevada temperatura del aire, evapotranspiración potencial, humedad y radiación solar (Anexo 3).

En las figuras N° 7, 8, 9 y 10 se representan las temperaturas promedio mensual a nivel horario (8 a.m. a 7 p.m.). En ellos se evidenció los efectos del mulch de césped en distintos grosores a diferentes niveles de profundidad.

Las geotemperaturas a 0 y 2 cm presentaron el mismo flujo de temperatura, sus máximas se presentaron entre las 10 a.m. y las 12 p.m. Las mínimas se evidenciaron a las 7 p.m. y a las 8 a.m. La amplitud geotérmica diaria fue mayor a 0 cm, a comparación de una profundidad de 2 cm.



continuación ...

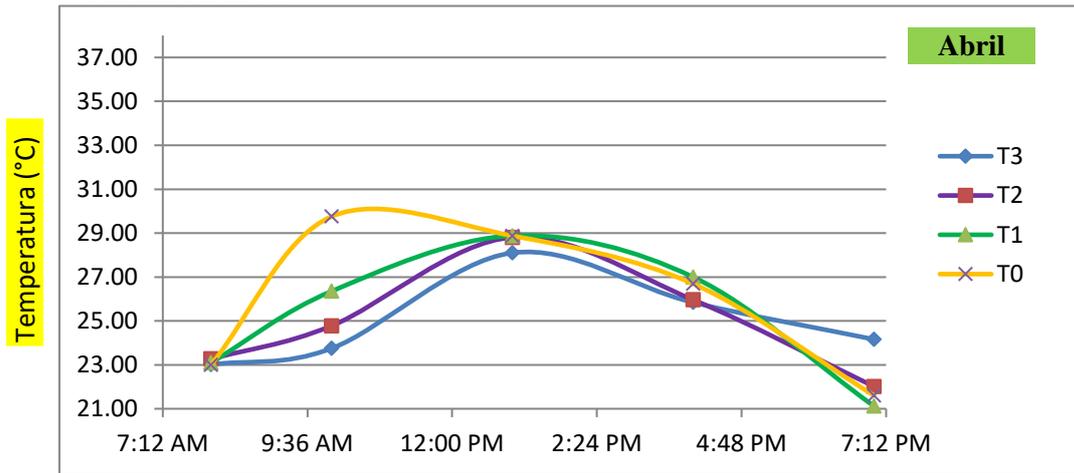
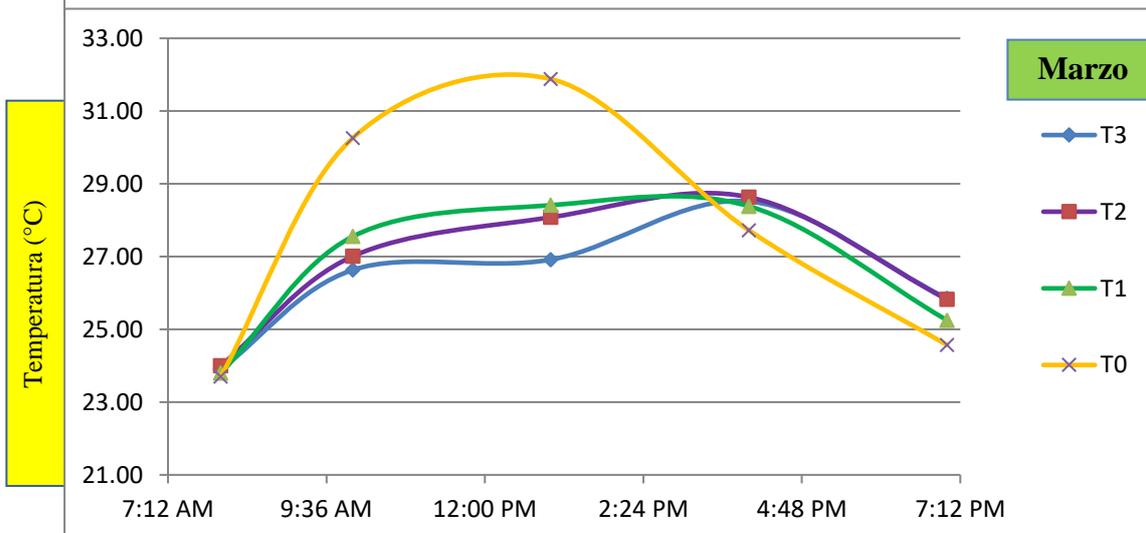
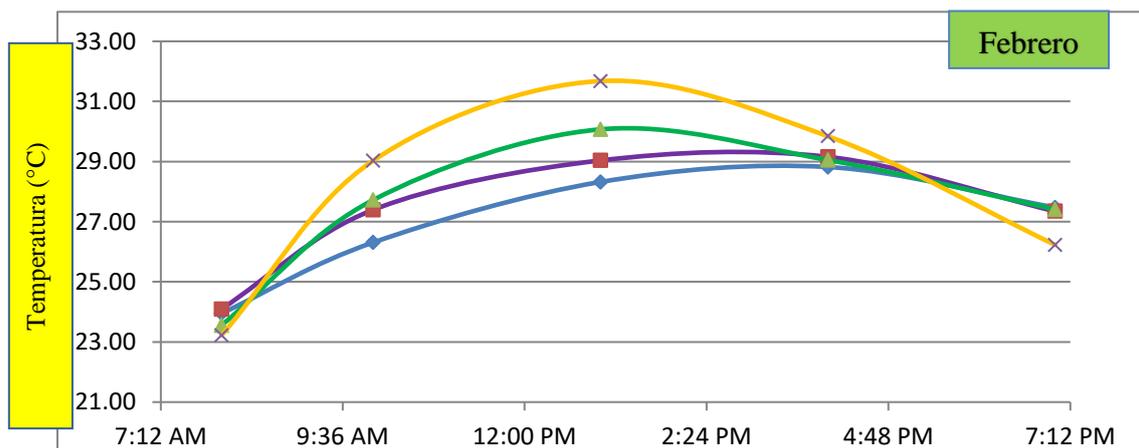


Figura 7: Geotemperatura media horaria, promediada para cada mes en los diferentes tratamientos a nivel de superficie (0 cm).



continuación ...

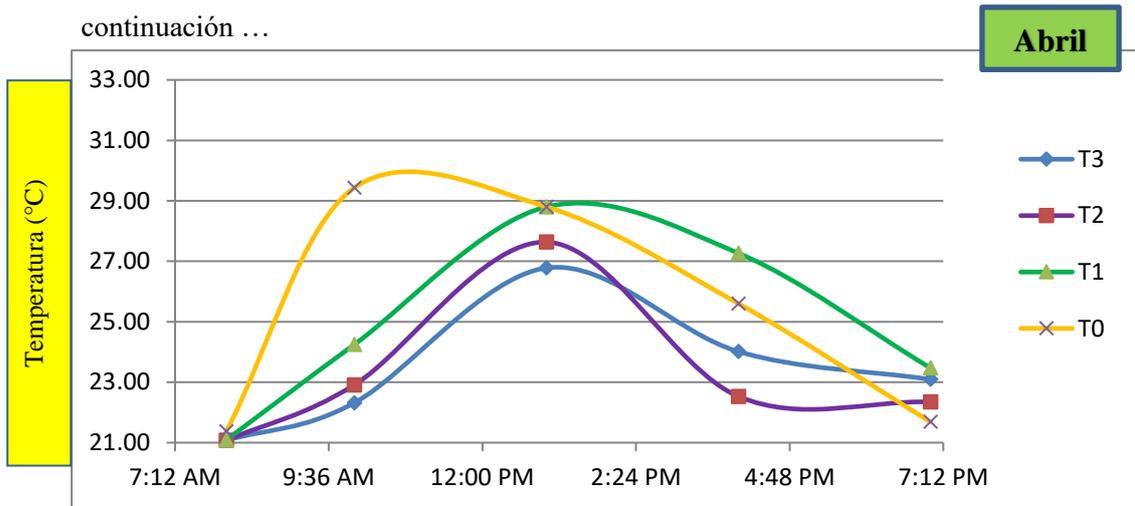
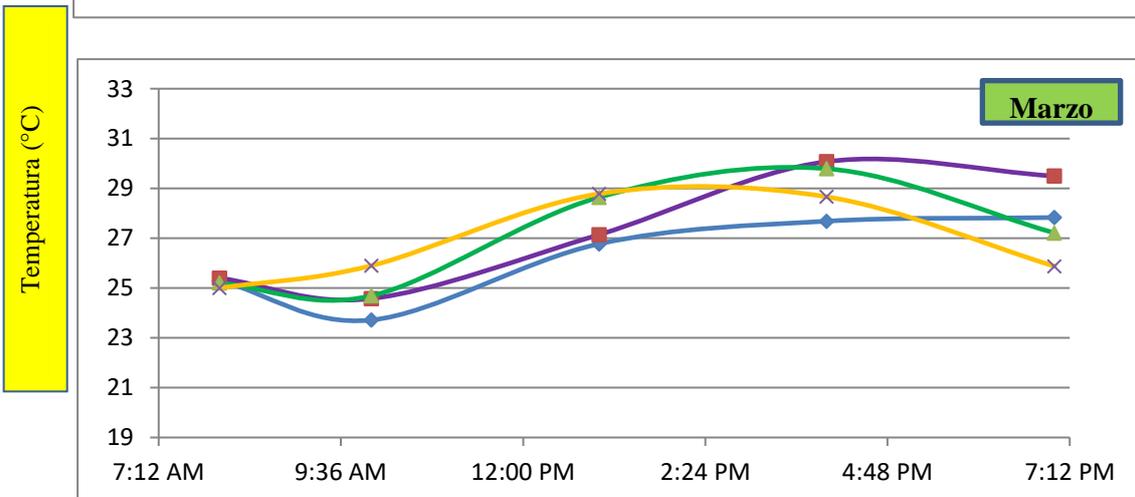
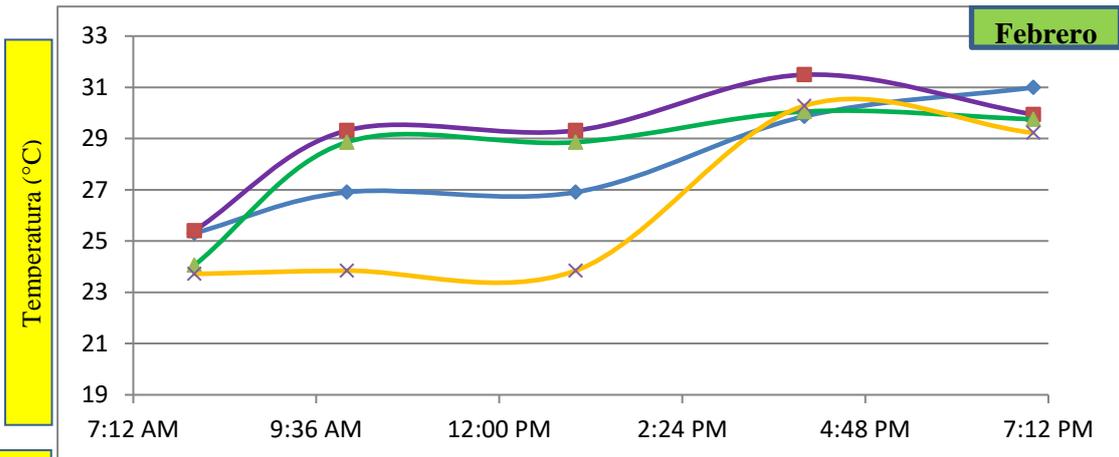


Figura 8: Geotemperatura media horaria, promediada para cada mes en los diferentes tratamientos a nivel de superficie (2 cm).



continuación ...

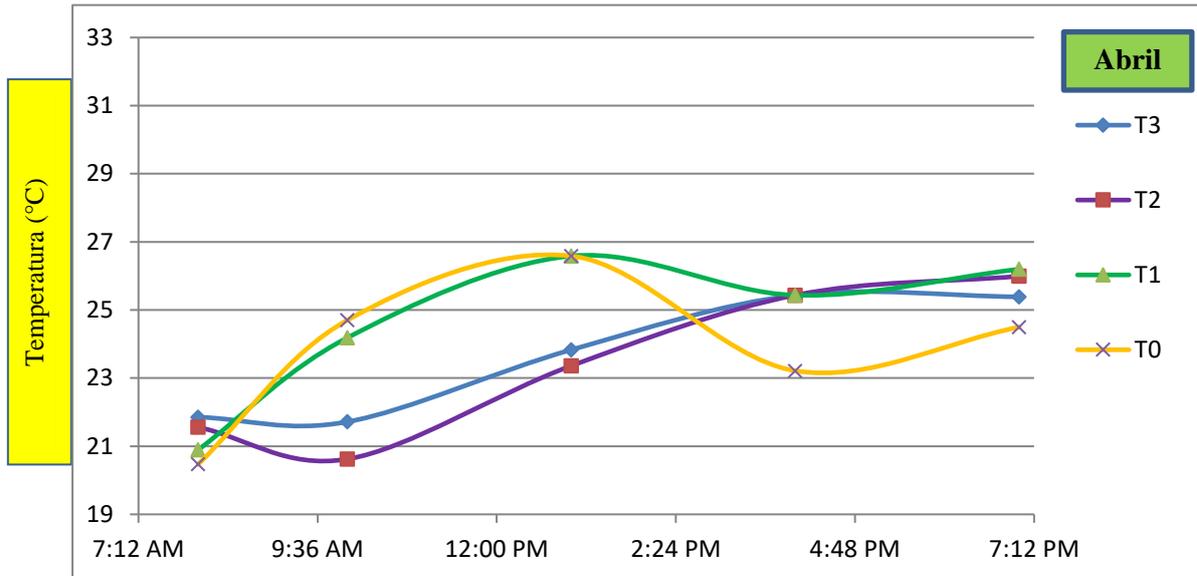
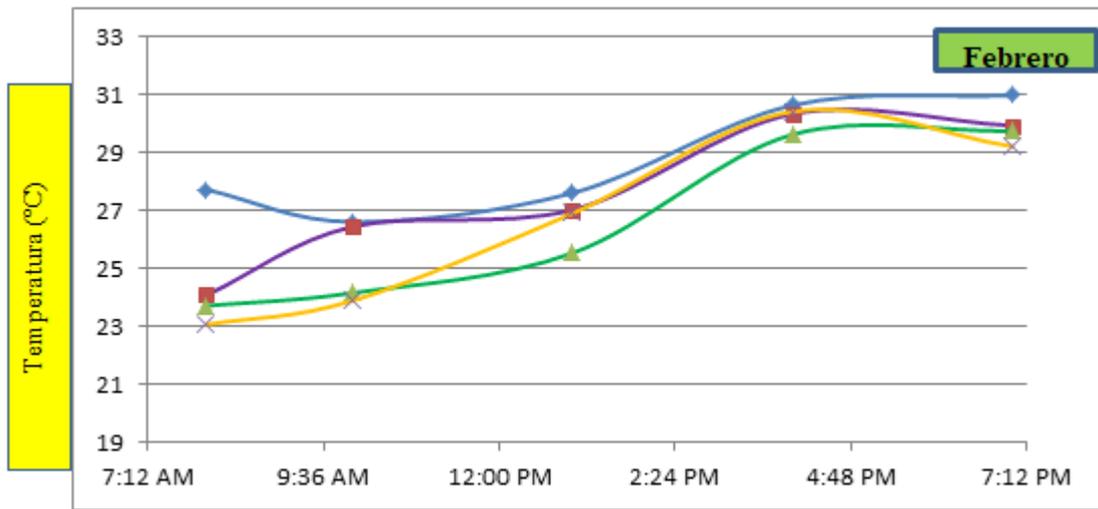


Figura 9: Geotemperatura media horaria, promediada para cada mes en los diferentes tratamientos a nivel de superficie (12 cm)



continuación...

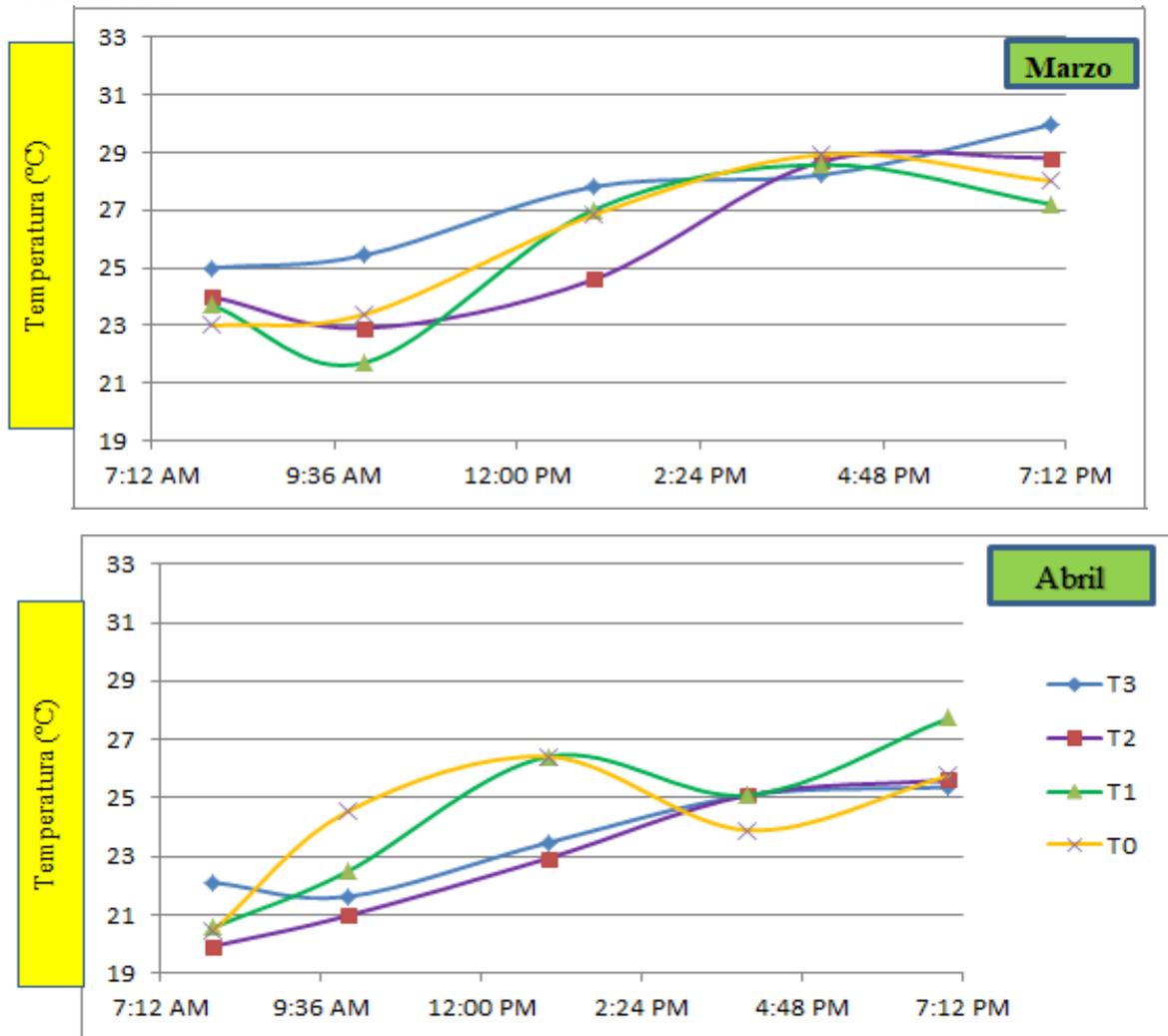


Figura 10: Geotemperatura media horaria, promediada para cada mes en los diferentes tratamientos a nivel de superficie (25 cm)

3.2.5. Evaluaciones

3.2.5.1. Análisis de Suelo

Mediante el servicio de Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria “La Molina”, se realizó un análisis de suelo antes del ensayo, para evaluar deficiencias o exceso de determinados componentes del suelo (Ver Anexo 2).

3.2.5.2. Análisis Biométricos

Peso seco de raíces, hojas, tallos y longitud de raíces.

Para realizar el análisis completo se extrajeron tres plantas de cada tratamiento a los 30 dds y cinco plantas, a los 60 y 90 dds. Mediante una distribución de las partes de la planta de papa, se secó en estufa a 55°C por 72 horas y posteriormente se procedió a pesar.

Índice de cosecha y Peso seco de los tubérculos

Para estos análisis se extrajeron cinco plantas a los 60 y 90 dds. Los tubérculos se secaron en estufa a 55° por 72 horas y posteriormente se procedió a pesar. El índice de cosecha se calculó mediante la relación entre el peso seco de los tubérculos y el peso seco de la planta.

Número de hojas

Se evaluó el número de hojas totales.

Número de Tallos

Se contabilizó el número de tallos principales y secundarios.

Altura de la planta

Se evaluó el tamaño de la planta.

Estas tres evaluaciones previamente mencionadas se evaluaron cada siete días, en todas las plantas del campo experimental, ya que no implicó su extracción.

3.2.5.3. Análisis de temperatura y humedad

Humedad gravimétrica

La humedad del suelo se midió cada dos semanas mediante determinaciones gravimétricas. La evaluación se calcula un día antes o dos días después de cada riego o precipitación y respetando un mismo horario (Gomez, 2012). Se recolectó una muestra de cada tratamiento entre los 0-15 cm y 15-30 cm de profundidad (apartando previamente la cobertura).

Geotemperatura

Mediante cuatro termistores ubicados a 0 cm, 2 cm, 12 cm y 25 cm se determinó la

resistencia eléctrica mediante el uso del voltímetro y, se estimó la temperatura. El ensayo se ejecutó cada tres horas (8 am a 7 pm), 16 días de cada mes (Loayza, 1993).

Se evaluó las temperaturas medias promedio de cada mes a nivel horario, considerando las diferentes profundidades del suelo. Con estos valores se diseñó un gráfico.

3.2.5.4. Pruebas bioquímicas

Análisis de clorofila total a, b y total

Análisis de concentración de prolina

Las evaluaciones previamente mencionadas se realizaron a los 60 y 90 dds

3.2.5.5. Gráficos de Temperatura y Humedad

Geotemperatura

La temperatura del suelo promedio se tomó a diferentes profundidades en cada mes. Las temperaturas fueron registradas cada tres horas desde las 8 am a 7 pm.

Humedad Gravimétrica

Se evaluaron la variación de la masa de agua en gramos contenido en 100 gramos de suelo, en las diferentes profundidades.

3.2.5.6. Análisis Estadísticos

3.2.5.6.1. Diseño de Bloques completos al azar

Se usó el Diseño de Bloques completos al azar sin muestreo. Para evidenciar las diferencias entre tratamientos en las pruebas se ejecutó un análisis de Variancia, prueba Tukey y la prueba de Friedman con un nivel de significancia de 0,05.

3.2.5.6.2. Correlaciones

Se evaluó las relaciones entre todas las variables biométricas (altura de la planta, número de hojas, número de tallos, peso seco de tallos, hojas, raíces y longitud de raíces) y bioquímicas (concentración de prolina foliar, contenido de clorofila A foliar y contenido de clorofila B foliar

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis de suelo

La materia orgánica fue elevada (10.11 por ciento), debido a la tierra vegetal adicionada previamente al experimento; por lo que se retuvo una gran cantidad de cationes y aniones. Según Jodaugieno, Pupalieno, Marcinkevicieno, y Bajorieno, (2012) en su ensayo en planta de papa con mulch de grass, demostró la mineralización del mulch, liberando potasio, fósforo y nitrógeno, siendo retenidos en la superficie del suelo y evitando la filtración a capas más profundas. Además, según Sinkevičienė, Jodaugienė, Pupalienė, y Urbonienė, (2009) el mulch de grass, es más efectivo en mineralización en suelo de nitrógeno, fósforo y potasio, a comparación del cultivo de papa con mulch de aserrín, mulch de turba y mulch de paja de trigo picada.

La alta conductividad eléctrica presentada estuvo inducida por la elevada cantidad de tierra vegetal y nutrición mineral, enriquecida previa al experimento. Según Molina et al., (2010) la materia orgánica amortigua los efectos de la salinidad en suelo, disminuye la conductividad eléctrica, aumenta la retención de humedad en suelo, y estabilidad de los agregados. Según Bagherzadeh, Gholizadeh, y Keshavarzi, (2018) la baja cantidad de materia orgánica y textura ligera, genera valores bajos de capacidad de intercambio catiónico (CIC).

El suelo empleado en el experimento, no presentó deficiencia de minerales nutricionales. La deficiencia nutricional en el tratamiento control, se debió al estrés hídrico, que dificultó la absorción de agua.

4.2. Análisis de geotemperatura y humedad

El mulch de grass determinó una gran efectividad en incrementar la humedad gravimétrica del suelo, con un valor mayor cerca al 200 por ciento en los tratamientos con mulch; en comparación con el tratamiento control.

La capa de grass en suelo, ejerció gran efectividad reduciendo las temperaturas en horas cercanas a las 12 a.m. e incrementando temperaturas a horas cercanas a las 7 p.m. La amortiguación de la variación térmica, se propagó en capas profundas, aunque con menor amplitud.

El mulch de grass favorece la reflexión de los rayos solares y una reducción de temperatura (Finckh, Bruns, Bacanovic, Junge, y Schmidt, 2015). En consecuencia, el mulch de grass es muy efectivo para mantener la temperatura del suelo, la humedad del suelo y proporciona una buena circulación de aire en el suelo; a comparación de otros mulch con hojas de plátano y cubierta de plástico en suelo (Zerga, Alemu, Tebasa, y Tesfaye, 2017).

Los cultivos de papa con mulch de grass de distintos grosores, presentaron una humedad gravimétrica cercana a 20. Trabajo realizado por Ashrafuzzaman, Halim, Ismail, Shahidullah, y Hossain, (2011) en cultivo de *Capsicum annuum* L. con mulch de plástico, concuerdan en una humedad gravimétrica cercana a 20 g de agua /g de suelo seco. También, en el ensayo de Lehar, Wardiyati, Moch, y Suryanto, (2017) en cultivo de *Solanum tuberosum* L .cv. Nadiya con mulch de paja de arroz concuerda en una reducción de temperatura del suelo en valores cercanos a 8°C, a comparación del cultivo en suelo desnudo.

4.3 Análisis de Crecimiento y Rendimiento

4.3.1 Altura de la planta

La altura se midió a partir de los 21 días después de la siembra, se midió desde la base de tallo hasta la yema terminal apical de la planta. Se aceptó la hipótesis de distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas, en la variable Altura de la Planta. La prueba no paramétrica de Friedman efectuada, no determinó diferencias significativas a los 90 dds (Anexo 1.1). Los promedios de la altura de la planta de los diferentes tratamientos evaluados a los 90 días después de la aplicación del mulch, se encuentran en las figuras (Figura N°11 y Tabla N°5).

En el experimento, algunos tallos secundarios y hojas murieron producto del estrés y la senescencia propia de la planta, debido a ello, se redujo en algunos tratamientos el tamaño de la planta en diferentes periodos de evaluación.

Tabla 5: Altura de la planta a los 90 dds (cm)

Tratamiento	Altura (cm)
T3	34.50 (a)
T2	26.75 (a)
T1	33.50 (a)
T0	23.67 (a)

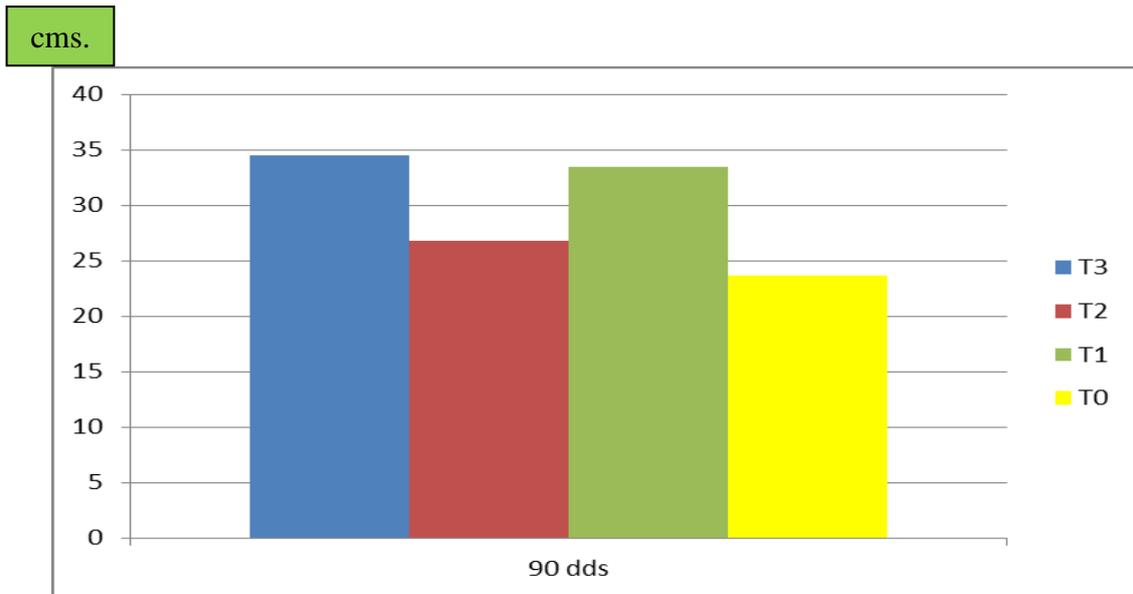


Figura 11: Altura de la planta a los 90 dds (cm)

1

4.3.2. Número de tallos

La prueba no paramétrica de Friedman a los 90 dds para la variable N° de tallos secundarios, determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 1.2).

Los promedios del número total de tallos de los diferentes tratamientos contabilizados a los 90 días después de la aplicación del mulch, se encuentran en la figura N°12 y Tabla N°6. Durante el experimento, algunos tallos secundarios y hojas murieron producto del estrés y la senescencia propia de la planta, debido a ello, el número de tallos evaluados cada 30 días, se redujo en algunos tratamientos.

Tabla 6: Promedio de Número de tallos secundarios a los 90 dds

Tratamiento	N° de Tallos
T3	1.8 (a)
T2	1.9 (a)
T1	1.3 (a)
T0	0.8 (a)

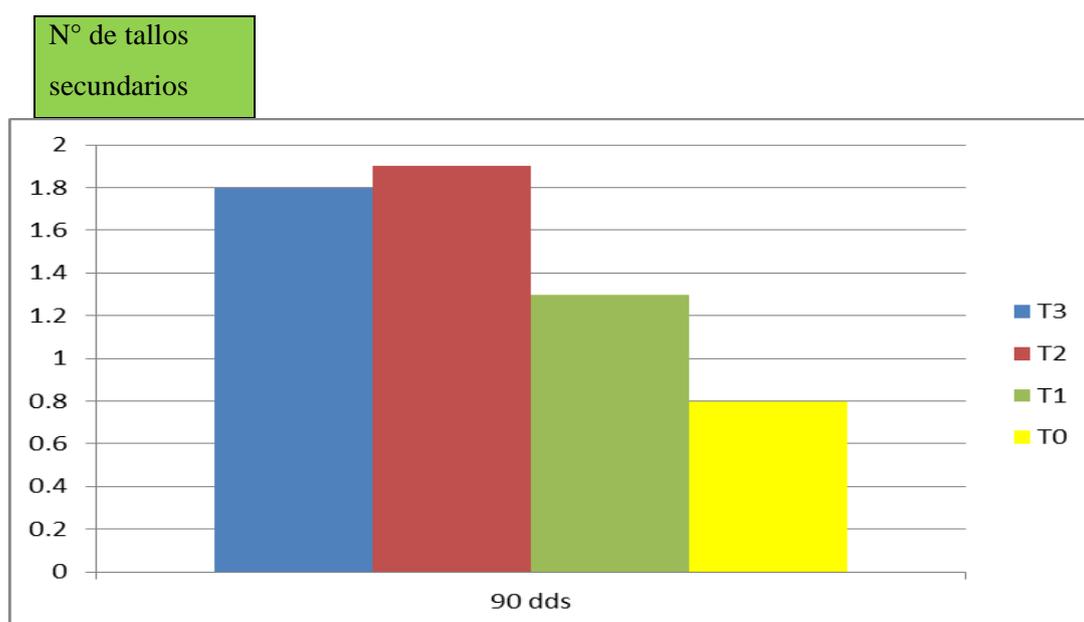


Figura 12: Número promedio de tallos secundarios a los 90 dds

4.3.3. Número de hojas

Se realizaron el análisis de varianza y la prueba de Tukey a un $\alpha=0.05$, evidencian ausencia de diferencias significativas en la variable N° de hojas a los 90 dds, entre los diversos tratamientos (Anexo 1.3).

Los promedios del número total de hojas de los diferentes tratamientos contabilizados a los 90 días después de la aplicación del mulch, se encuentran en la figura N°13 y la Tabla N°7. Durante el experimento, algunos tallos secundarios y hojas murieron producto del estrés y la senescencia propia de la planta, debido a ello, se redujo en algunos tratamientos el número total de hojas en diferentes periodos de evaluación.

Tabla 7: Promedio de número de Hojas por tratamiento a los 90 dds

Tratamiento	N° de hojas
T3	33.5 (a)
T2	31.2 (a)
T1	28 (a)
T0	25.6 (a)

N° de hojas

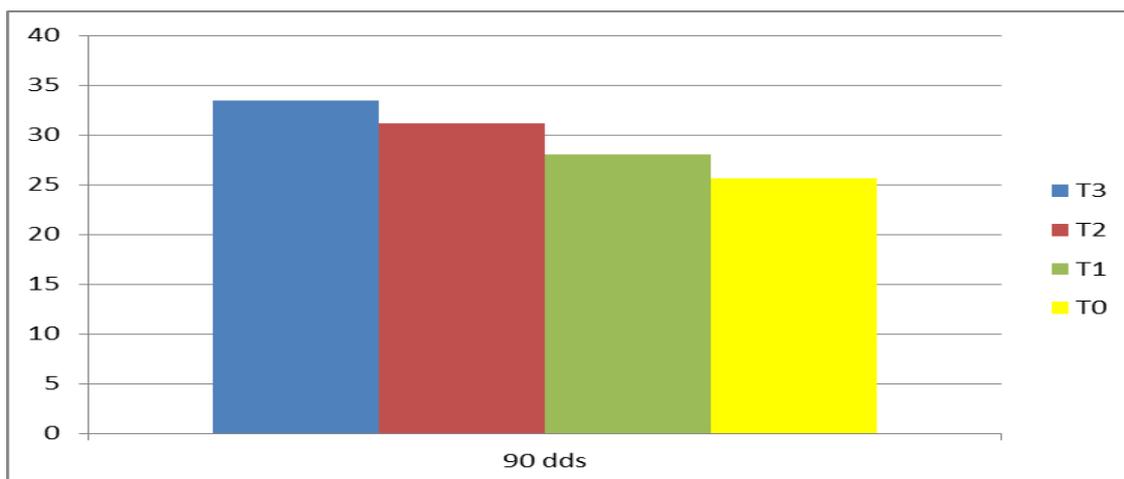


Figura 13: Promedio de número de hojas por tratamiento a los 90 dds

4.3.4. Longitud de la raíz

Se realizaron las pruebas paramétricas de análisis de varianza y la prueba de Tukey a un $\alpha=0.05$ demostrando que existe diferencias significativas en la variable previamente mencionada. A los 90 dds, se encontró diferencias significativas entre el tratamiento T2 y el tratamiento control (Anexo 1.4).

Los promedios de la longitud de las raíces de los diferentes tratamientos contabilizados a los 90 días después de la aplicación del mulch se encuentran en la figura N°14 y la tabla N°8. Durante el experimento, se extrajeron 5 plantas de cada tratamiento, debido a ello, se presentó alteraciones en la longitud de la raíz.

Tabla 8: Promedio de longitud de las raíces para los tratamientos a los 90 dds (cm)

Tratamiento	Longitud de raíz a los 90 dds (cm)
T3	11.86 (ab)
T2	11.92 (a)
T1	8.67 (ab)
T0	8.50 (b)

cms.

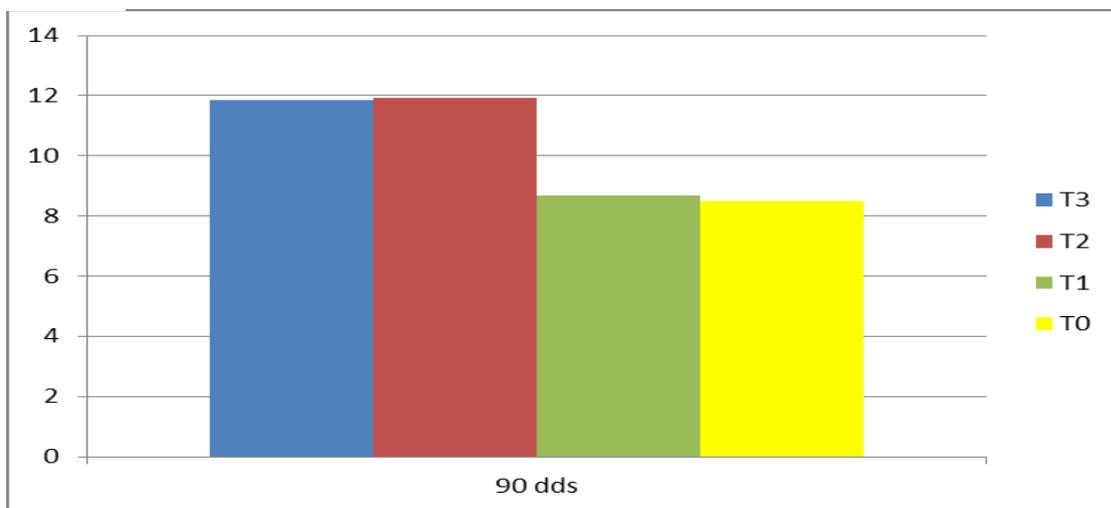


Figura 14: Promedio de longitud de las raíces a los 90 dds (cm)

4.3.5. Peso seco

4.3.5.1. *Peso seco de hojas*

A los 90 dds, en la evaluación para esta variable no se presentó homogeneidad de varianzas. A los 90 dds, se evidenció diferencias significativas entre el tratamiento control y el tratamiento T1 (Anexo 1.5).

Los promedios de los pesos secos de las hojas de los diferentes tratamientos evaluados a los 90 días después de la aplicación del mulch, se encuentran en la figura N°15 y la tabla N°9. A lo largo del experimento, algunas hojas murieron producto del estrés y la senescencia propia de la planta, debido a ello, se redujo en algunos tratamientos el número de hojas en diferentes periodos de evaluación y por lo tanto el peso seco de las hojas.

Tabla 9: Promedio de pesos secos de hojas por tratamiento a los 90 dds (g)

Tratamiento	Peso seco hojas (g)
T3	2.17 (ab)
T2	2.24 (ab)
T1	3.11 (a)
T0	1.62 (b)

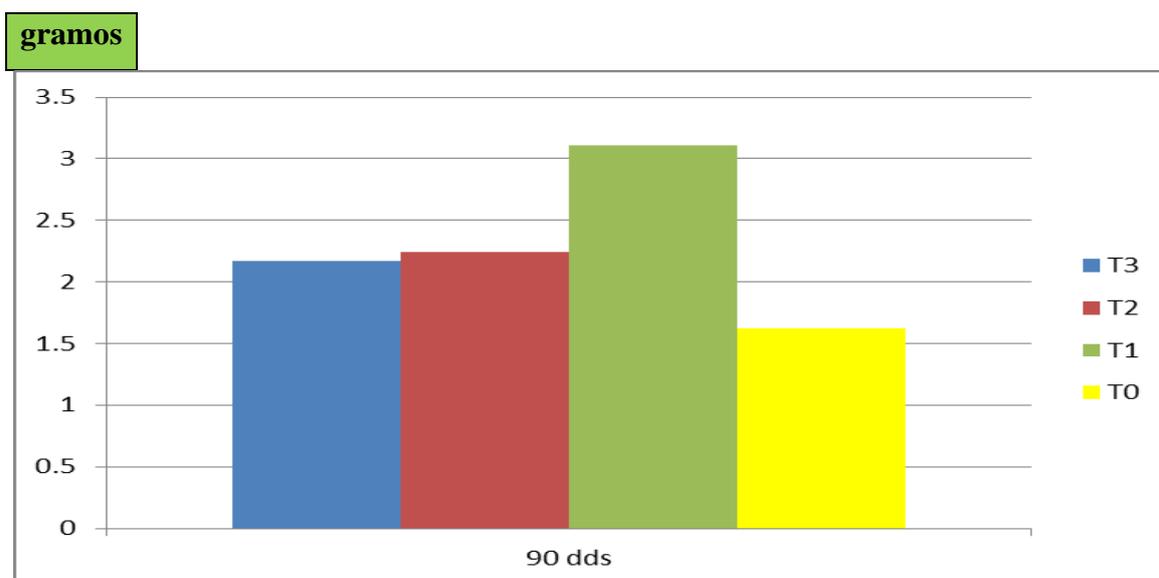


Figura 15: Promedio de peso seco de hojas por tratamiento a los 90 dds (cm)

4.3.5.2. *Peso seco de tallos*

A los 90 dds, en la evaluación para esta variable no presentó homogeneidad de varianzas. La prueba de Friedman en la variable peso seco de tallos a un $\alpha=0.05$ demostró diferencias significativas, entre los tratamientos T1 y T2, en comparación con el resto de tratamientos. (Anexo 1.6).

Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada, se encuentran en la figura N°16 y la tabla N°10.

Durante el experimento, algunos tallos secundarios murieron producto del estrés y la senescencia propia de la planta, debido a ello, se redujo en algunos tratamientos el número de tallos y por lo tanto, el peso seco de los tallos disminuyó.

Tabla 10: Promedio de peso seco de tallos para los tratamientos a los 90 dds (g)

Tratamiento	Peso seco tallo (g)
T3	0.87 (b)
T2	1.28 (a)
T1	1.28 (a)
T0	0.70 (b)

gramos

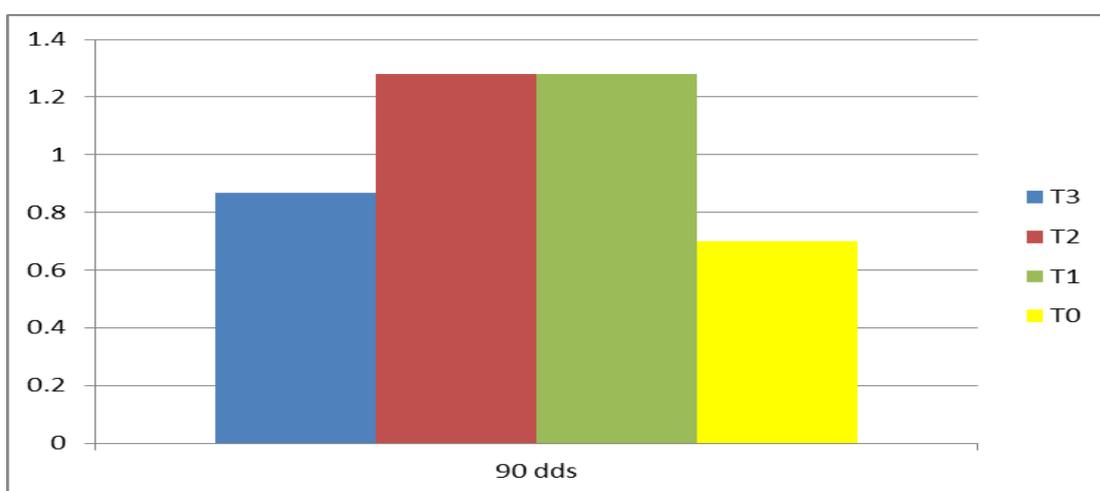


Figura 16: Promedio de pesos secos de tallos por tratamiento a los 90 dds (g)

4.3.5.3. *Peso seco de raíces*

La variable peso seco de raíces presentó distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas, a los 90 dds. El análisis de varianza y la prueba de Tukey a un $\alpha=0.05$ demostraron que no existe diferencias significativas en la variable N° de hojas, 90 dds. (Anexo 1.7). Los promedios del peso seco de raíces de los diferentes tratamientos evaluados a los 90 días después de la aplicación del mulch, se presentan en la tabla N° 11 y figura N°17.

Tabla 11: Promedio de pesos secos de raíces a los 90 dds (g)

Tratamiento	Peso seco de raíces (g)
T3	0.25 (a)
T2	0.37 (a)
T1	0.31 (a)
T0	0.38 (a)

gramos

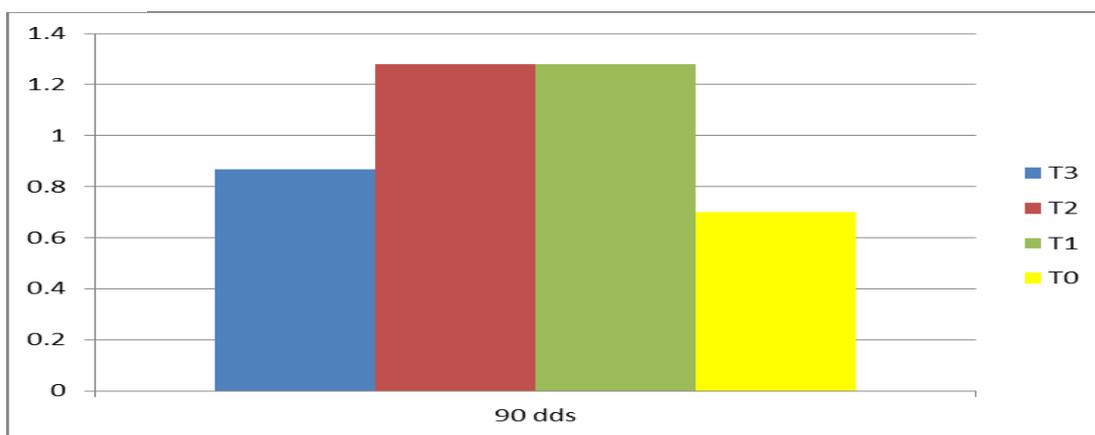


Figura 17: Promedio de pesos secos de raíces para los tratamientos a los 90 dds (g)

La mayor cantidad de pruebas biométricas realizadas, presentaron diferencias significativas entre los tratamientos analizados. En las pruebas de peso y número de hojas se mostró diferencia entre los tratamientos; sin embargo, en las pruebas de número de tallo y altura, no se evidenciaron diferencias significativas.

No obstante, las diferencias se reflejaron a los 60 y 90 días después de la siembra; el primer mes no se evidenció diferencia significativa en la mayoría de pruebas biométricas, debido al escaso tiempo de sometimiento a estrés. Trabajos realizados por SINGH (2011) con mulch en *Solanum tuberosum* L. y Ashrafuzzaman et al. (2011) en cultivo de *Capsicum annuum* L. con mulch, concuerdan que la disimilitud se presenta a los 60 y 90 días después de la siembra; sin embargo, es igual a los 30 días después de la siembra.

El cultivo de papa es muy exigente en las condiciones de temperatura y humedad del suelo.

Los valores térmicos óptimos en la etapa de emergencia están entre los 17°C y 25°C; crecimiento vegetativo entre los 15°C y 25°C y la tuberización está directamente relacionado con la translocación y acumulación de fotosintatos en los tubérculos, siendo los valores óptimos de 14 a 20 ° C. (Porter, Opena, Bradbury, Mcburnie, y Sisson, 1999). Para optimizar el rendimiento total del agua disponible en el suelo, no debe ser agotado por más de 30 a 50 por ciento (Lozano, 2015).

Debido a las condiciones de bajo volumen de riego (29 ml diario por planta en promedio), altas temperaturas (con picos de 36.8°C cercano al medio día) y/o escasa aireación, entre las principales, durante los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril y Mayo del año 2019; produjeron un estrés severo dependiendo al tratamiento en la planta de papa (*Solanum tuberosum*) variedad “Canchan”, lo que se reflejó en el desarrollo, fisiología y producción de tubérculo.

El mes previo a la aplicación del mulch, se presentó un crecimiento en condiciones óptimas y equitativas, para todos los tratamientos. El primer mes del experimento, el factor principal que originó alteración en el crecimiento y supervivencia, se debió a las elevadas temperatura y humedad del suelo. De acuerdo a Lozano (2015) la papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo sensible a la sequía, ya que posee un sistema radicular poco profundo.

A partir de los 60 días, se presentó un estrés biótico relativamente severo en todos los tratamientos, adicional al estrés abiótico permanente. Se presenciaron diversas plagas, entre ellas: plaga de mosca blanca, araña roja (*Tetranychus urticae*) y polilla de la papa (*Phthorimaea operculella*); hasta la finalización del ensayo experimental. El tratamiento control presentó un mayor efecto dañino por estrés biótico, en comparación con los demás tratamientos. Según Hajšlová et al. (2012) el incremento de temperatura del suelo, promueve el aumento de número de larvas. En su ensayo en cultivo de papa con mulch de grass, evidenció una reducción en la cantidad de larvas y conglomerado de huevos, a comparación de un cultivo con suelo desnudo.

Debido a ello, se agregó un repelente artesanal elaborado con ajo, hojas de tabaco, y jabón, en días alternos. El repelente redujo drásticamente a un valor mínimo, la incidencia por las plagas previamente mencionadas.

Se presentó una elevada concentración de humedad volumétrica en suelo por encima del 70 por ciento, en los tratamientos de papa con mulch de pasto; generando una reducción amplia en la aireación del suelo.

Por este motivo, se presentó pudrición de la raíz en algunas muestras de raíz con elevado grosor de mulch, alteración en el crecimiento, y desarrollo en la planta de papa. Según Abuarab, Mostafa, y Shahien, (2014) la hipoxia en plantas de papa disminuye la respiración de la raíz, restringiendo el crecimiento de las raíces, y la capacidad del sistema radicular para capturar agua.

A partir de los 90 días, adicionalmente al estrés abiótico; se produjo una senescencia propia de la planta de papa. Según Pino, (2016) el estrés hídrico tardío, reduce el ciclo de duración del desarrollo foliar, disminuyendo el tamaño y calidad de los tubérculos.

4.3.5.4. *Peso seco de tubérculos por planta*

La variable peso seco de tubérculos por planta presentó distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas, a los 60 dds. El análisis de varianza y la prueba de Tukey a un $\alpha=0.05$ demostraron que existe diferencias significativas entre el tratamiento control y los demás tratamientos, a los 60 dds (Anexo 1.8)

A los 90 dds, en la evaluación para esta variable, no se presentó homogeneidad de varianzas. La prueba de Friedman en la variable peso seco de tubérculos por planta a un $\alpha=0.05$, demostró que existe diferencias significativas entre el tratamiento control y el resto de tratamientos. (Anexo 1.9).

Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada, se encuentran en la figura N°18 y la tabla N°12.

Tabla 12: Peso seco de tubérculos por planta (g).

Tratamiento	Peso seco de tubérculos por planta (g)	
	60 dds	90 dds
T3	1.26 (a)	2.04 (a)
T2	1.04 (a)	1.56 (a)
T1	1.34 (a)	1.61 (a)
T0	0.00 (b)	0.07 (b)

gramos

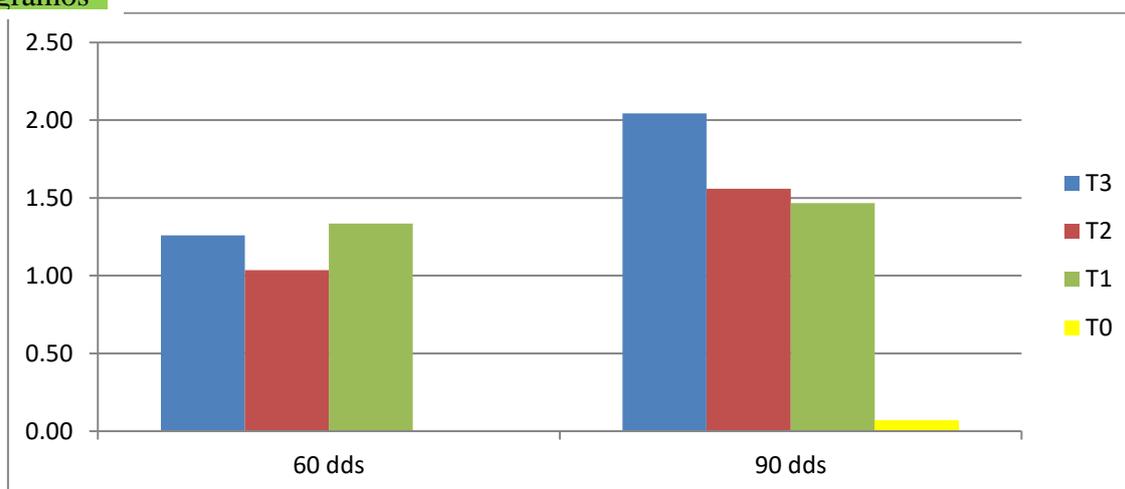


Figura 18: Promedio de pesos secos de raíces para los tratamientos a los 90 dds (g)

4.3.5.5. Índice de Cosecha

A los 60, el análisis de Friedman evidenció diferencias significativas en la variable Índice de Cosecha a un $\alpha=0.05$, entre los tratamientos T0 y T1, en comparación con los demás tratamientos. A los 90 dds, se evidenció diferencias significativas entre el tratamiento control y los demás tratamientos (Anexo 1.10 y 1.11). Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada, se encuentran en la figura N°19 y la tabla N° 13.

Tabla 13: Índice de Cosecha

Tratamiento	Índice de Cosecha	
	60 dds	90 dds
T3	0.358 (a)	0.681 (a)
T2	0.146 (a)	0.383 (a)
T1	0.296 (ab)	0.343 (a)
T0	0.000 (b)	0.023 (b)

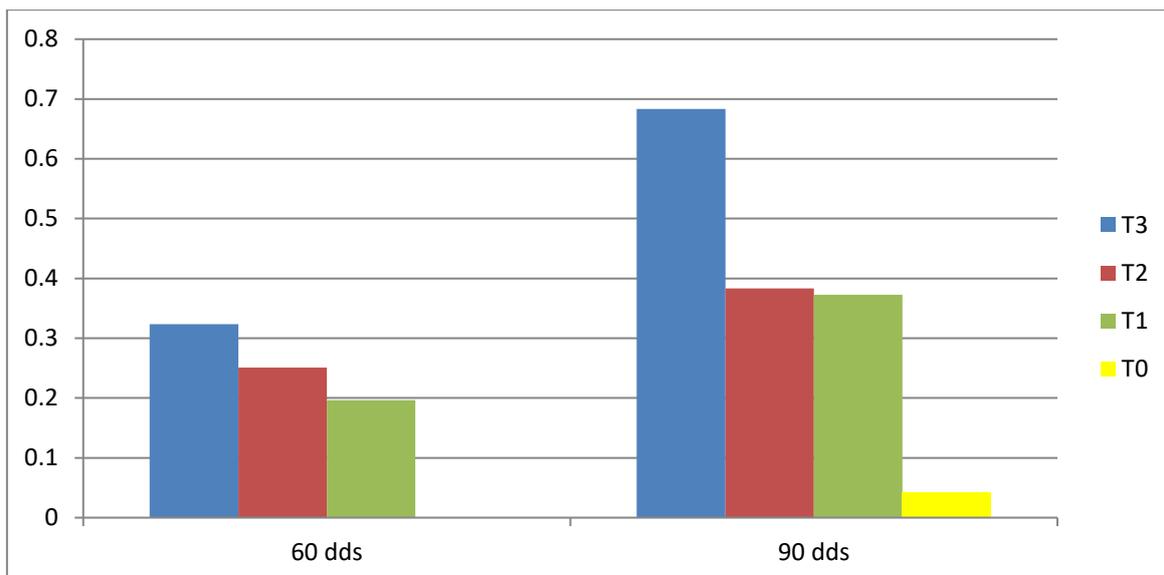


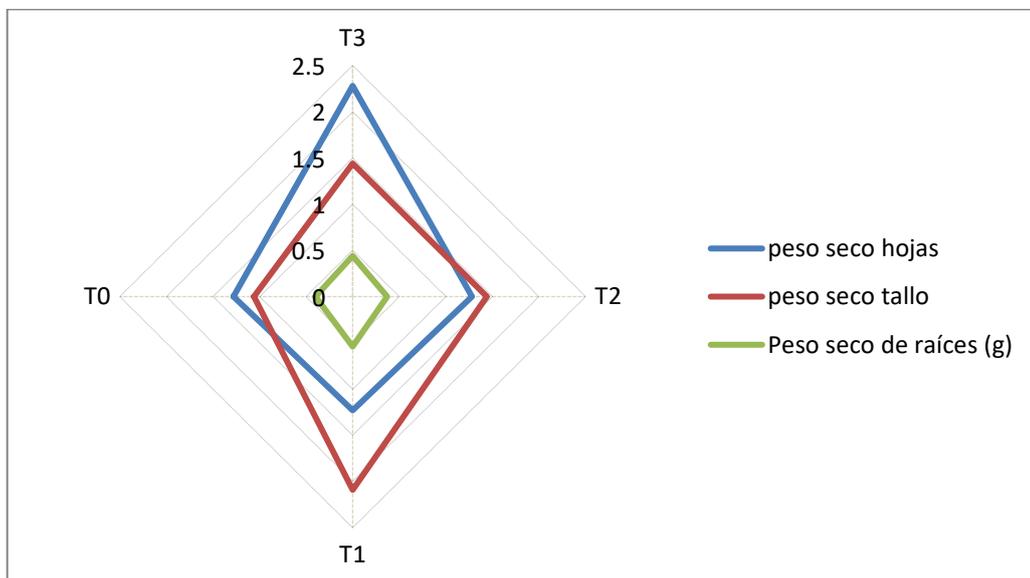
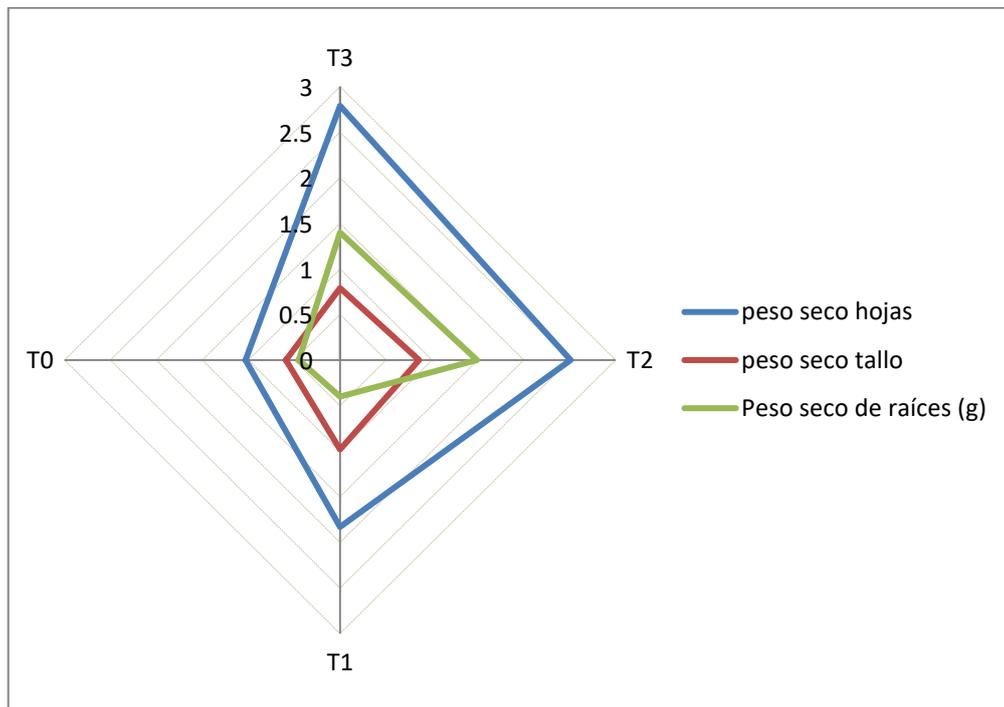
Figura 19: Índice de Cosecha

El peso fresco y seco en tubérculos fue mayor en los tratamientos con mulch, a comparación del tratamiento control. Adicionalmente no se presentó diferencias significativas entre los tratamientos T1, T2 y T3. Esto concuerda con el ensayo de Dvorák et al., (2009), quienes demostraron que el cultivo de *Solanum tuberosum* con mulch de grass presentó una superior producción de papa con respecto al tratamiento con suelo desnudo.

Según Pino, (2016) el déficit hídrico en etapas tardías (llenado de tubérculos), reduce la duración del ciclo de crecimiento de área foliar, disminuyendo el tamaño y calidad de los tubérculos. Adicionalmente, para Lehar et al., (2017) en su ensayo en cultivo de *Solanum tuberosum* L .cv. Nadiya, una elevada temperatura del suelo cercana a 29°C, reduce la tasa de crecimiento y el rendimiento.

La escasa producción, se debió probablemente a las altas temperaturas que tuvo un efecto negativo en el rendimiento final en los cultivos de papa. En el ensayo de Borah y Milthorpe (1962), citado en Levy y Veilleux, (2007) encontraron que la temperatura óptima para la formación del tubérculo en cultivo de papa fue de 20 °C, no obstante, la tuberización a una temperatura de 25°C se retrasa debido a la aceleración del metabolismo y crecimiento.

4.1.5.6. *Polígono de Crecimiento*



continuación ...

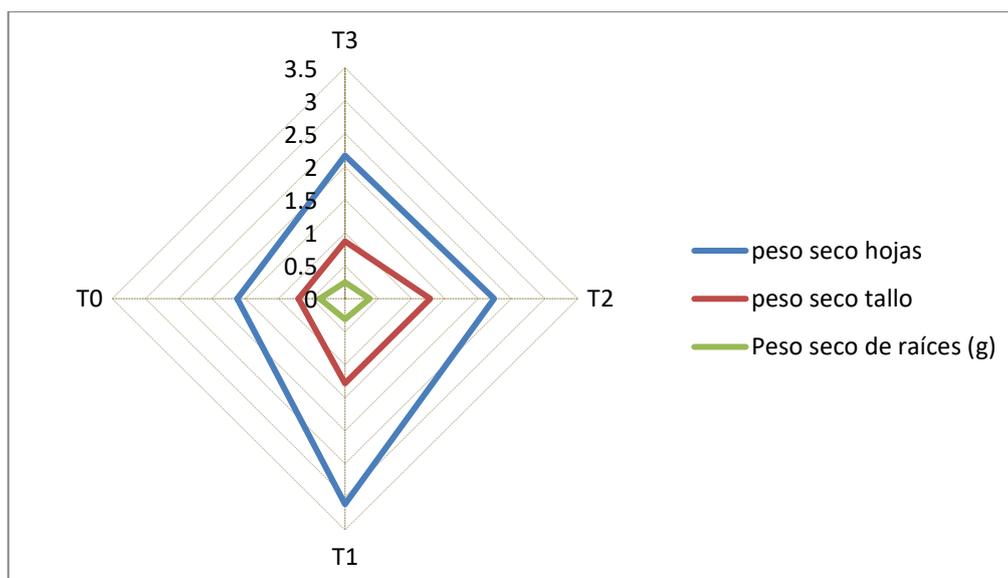


Figura 20: Polígono de crecimiento a los 30, 60 y 90 dds

4.3.6. Peso Fresco

4.3.6.1. *Peso fresco de hojas*

La variable peso fresco de hojas presentó distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas, a los 30, 60 y 90 dds. El análisis de varianza y la prueba de Tukey a un $\alpha = 0.05$ demostraron que existe diferencias significativas en la variable N° de hojas a los 30 dds, entre los tratamientos T0 y los tratamientos T2 y T3 (Anexo 1.12). A los 60 dds, evidenció un mayor peso fresco de hojas en el tratamiento T1 y T2, seguido del tratamiento T3. El tratamiento control presentó el menor peso fresco de hojas (Anexo 1.13).

A los 90 días posteriores a la aplicación del mulch, se evidenció diferencias significativas entre los tratamientos con mulch y el control (Anexo 1.14).

Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada se encuentran en la figura N°21 y la tabla N° 14.

Tabla 14: Promedio de pesos frescos de hojas por tratamiento (g)

Tratamiento	Peso Fresco de Hojas		
	30 dds	60 dds	90 dds
T3	16.70 (a)	5.62 (b)	6.26 (a)
T2	15.25 (a)	8.73 (a)	6.03 (a)
T1	12.83 (ab)	9.18 (a)	6.89 (a)
T0	5.39 (b)	2.22 (c)	1.87 (b)

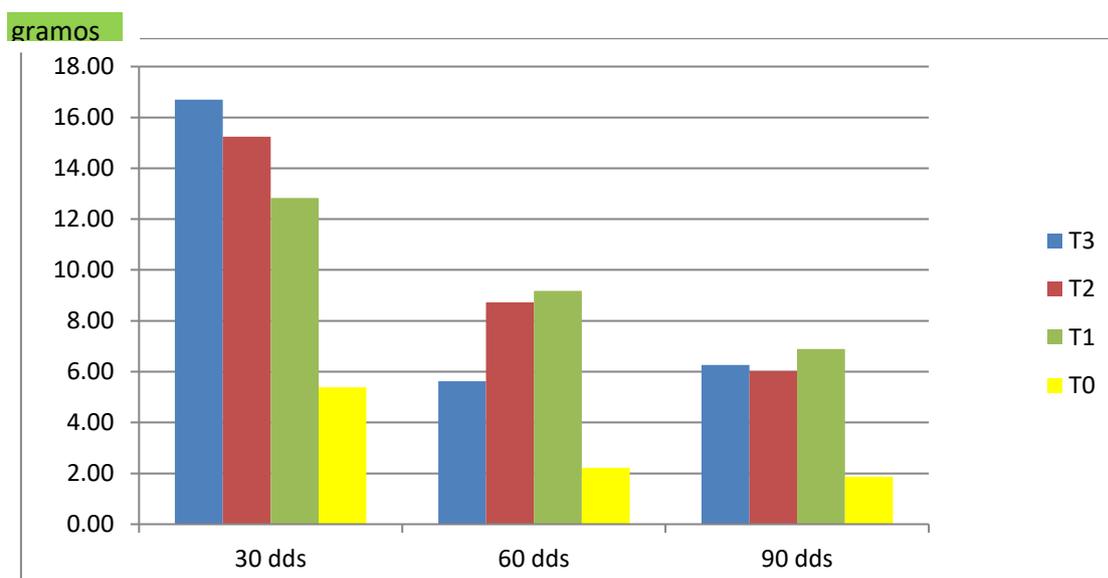


Figura 21: Promedio de pesos frescos de hojas (gramos)

4.3.6.2. *Peso fresco de tallos*

La variable peso fresco de tallos presentó distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas, a los 30, 60 y 90 dds. El análisis de varianza y la prueba de Tukey a un $\alpha=0.05$ demostraron que no existe diferencias significativas en la variable N° de hojas, a los 30 dds y 90 dds. No obstante, a los 60 dds, se evidenció diferencias significativas, con un mayor peso fresco en el tratamiento T1, seguido de los tratamientos T2 y T3 y por último, el menor peso fresco lo evidenció el tratamiento control (Anexo 1.15, 1.16 y 1.17).

Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada, se encuentran en la figura N° 22 y la tabla N° 15. Durante el experimento, algunos tallos secundarios murieron producto del estrés biótico, abiótico y la senescencia propia de la planta, debido a

ello, se redujo en algunos tratamientos el número de tallos y por lo tanto, el peso seco de los tallos disminuyó.

Tabla 15: Promedio de pesos fresco de tallos para los tratamientos (g)

Tratamiento	Peso fresco de Tallos		
	30 dds	60 dds	90 dds
T3	16.69 (a)	9.67 (b)	5.90 (a)
T2	16.45 (a)	10.37 (b)	6.17 (a)
T1	13.09 (ab)	14.12 (a)	5.41 (a)
T0	5.99 (b)	5.32 (c)	3.58 (a)

gramos

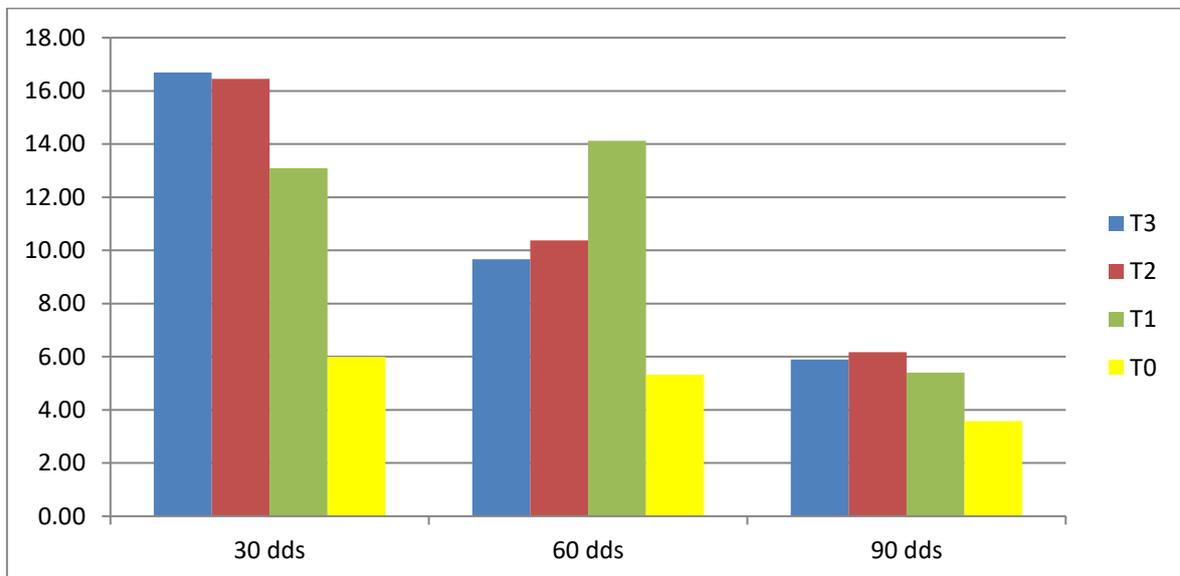


Figura 22: Promedio de pesos fresco de tallos por tratamiento (g)

4.3.6.3. *Peso fresco de raíz*

A los 30 dds, la variable peso fresco de raíces no presentó homogeneidad de varianzas, por ello se opta por una prueba no paramétrica. La prueba de Friedmann a un $\alpha=0.05$, determinó la ausencia de diferencias significativas (Anexo 1.18).

La variable peso seco de raíces presentó distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas, a los 60 y 90 dds. La prueba de Tukey a un $\alpha=0.05$ no evidenció diferencias

significativas (Anexo 1.19 y 1.20). A los 90 dds, se evidenció diferencias significativas entre el tratamiento T1 y T2, el tratamiento T3 y el tratamiento control.

Los promedios de los tratamientos para esta variable, se presentan en la Tabla N° 16 y figura N°23.

A lo largo del experimento, algunas hojas y tallos secundarios murieron producto del estrés biótico, abiótico y la senescencia propia de la planta, debido a ello, en algunos tratamientos se murió parte de la raíz.

Tabla 16: Promedio de pesos fresco de raíces (g)

Tratamiento	Peso Fresco de Raíz		
	30 dds	60 dds	90 dds
T3	2.91 (a)	1.66 (a)	2.31 (a)
T2	3.24 (a)	1.49 (a)	1.84 (ab)
T1	2.85 (a)	1.45 (a)	1.83 (ab)
T0	2.88 (a)	0.94 (a)	0.63 (b)

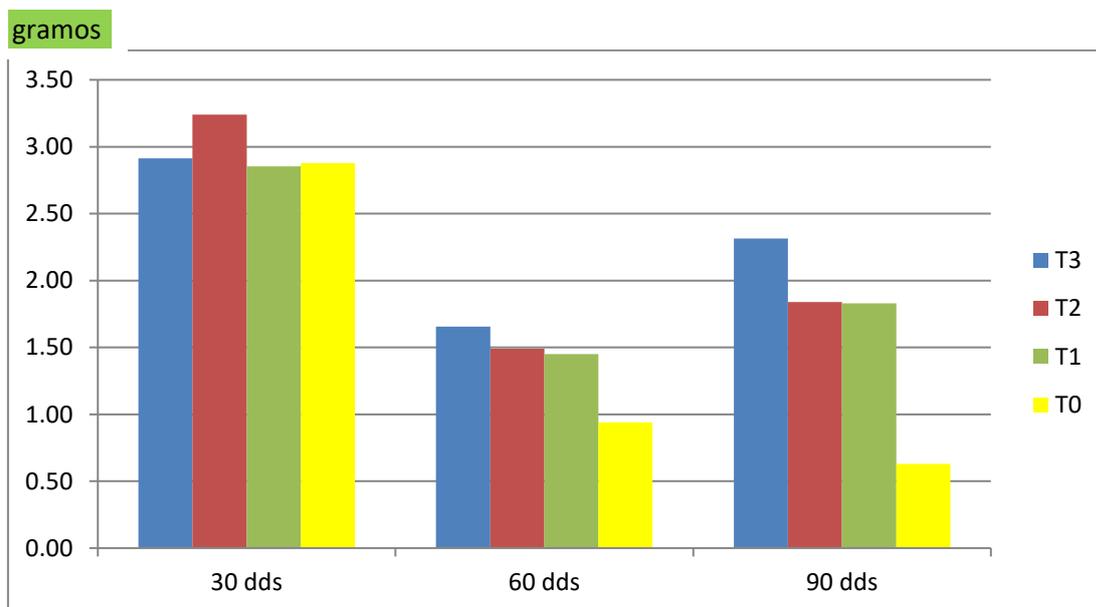


Figura 23: Promedio de pesos frescos de raíces para los tratamientos (g)

4.3.6.4. *Peso fresco de tubérculos por planta*

La variable peso seco de tubérculos por planta presentó distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas, a los 60 y 90 dds. El análisis de varianza y la prueba de Tukey a un $\alpha=0.05$ demostraron que existe diferencias significativas entre el tratamiento control y los demás tratamientos, a los 60 y 90 dds (Anexo 1.21 y 1.22).

Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada, se encuentran en la figura N°24 y la tabla N° 17.

Tabla 17: Peso fresco de tubérculos por planta (g).

Tratamiento	Peso Fresco de Tubérculos	
	60 dds	90 dds
T3	5.51 (a)	9.22 (a)
T2	5.19 (a)	8.96 (a)
T1	7.92 (a)	9.00 (a)
T0	0.00 (b)	0.07 (b)

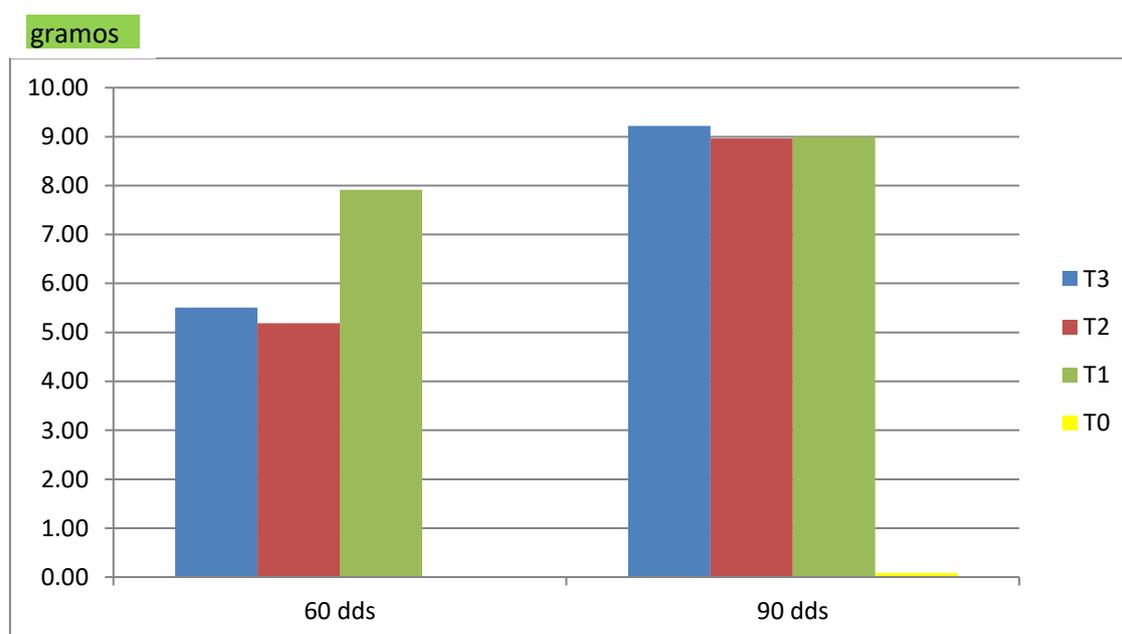


Figura 24: Promedio de pesos frescos de tubérculos por tratamiento (g)

El análisis en peso demostró un efecto a largo plazo, de los efectos por estrés por ligero exceso de humedad, hídrico, térmico y por salinidad. Se evidenció disimilitudes entre los tratamientos, influido por las diferentes intensidades de estrés que incidieron en la planta de papa, dependiendo a la presencia o ausencia de mulch y el grosor de la capa.

El tratamiento control, presentó el menor peso en la evaluación, debido a la grave intensidad de los diversos tipos de estrés. La humedad gravimétrica cercana a 8 por ciento, produjo un padecimiento de estrés hídrico y salinidad, debido a la elevada evaporación del agua y la disminución del potencial del agua.

Una disponibilidad hídrica en la planta cercana a la tercera parte del riego óptimo, generó un inadecuado crecimiento y rendimiento. Según INIA Chile, se presenta una disminución significativa en los cultivo de papa sometidas a estrés hídrico severo (25 por ciento de riego) desde la tuberización (Pino, 2016).

En general, el déficit de agua en la estación media a la parte tardía del período de crecimiento tiende a reducir el rendimiento con mayor severidad, a comparación de la primera parte de crecimiento. Para optimizar el rendimiento total del agua disponible en el suelo no debe ser agotado por más de 30 a 50 por ciento (Lozano, 2015).

Además, en el tratamiento control se acrecentó el estrés por salinidad, a pesar de poseer un suelo con elevada cantidad de materia orgánica. Esto se apoya al ensayo en cultivo de papa con mulch de hierba picada de Dvořák et al., (2012), quienes evidencian un aumento del potencial hídrico del suelo y rendimiento. Además en el ensayo de Jodaugienė et al., (2012) el mulch de grass de mayor grosor fue el más efectivo, a comparación de otros mulch, en retener y liberar una alta cantidad de los minerales previamente mencionado. Estudios realizados en Levy et al., (1988) en cultivo de *Solanum tuberosum* variedades Alpha, Désirée, y Cara, indicaron que el sometimiento a estrés por salinidad, produjo un reducido peso fresco y seco del tubérculo por planta.

El tratamiento control padeció una mayor intensidad de estrés térmico. La elevada temperatura del suelo en cultivo de *Solanum tuberosum* L .cv. Nadiya, influye negativamente en la tasa de crecimiento y el rendimiento (Lehar et al., 2017). El número de tubérculos fue significativamente dependiente de la humedad del suelo durante el impacto de la alta temperatura (Rykaczewska, 2013). De manera similar, Naz, Durrani, Shah, Khan,

y Ullah, (2018) en evaluaciones en *Solanum tuberosum* L., los tratamientos sometidos a temperaturas más elevadas, presentaron un reducido peso fresco y seco.

El cultivo de papa con mulch de grosor 5 y 7.5 cm presentaron un mayor peso, número de hojas y longitud de raíz, debido al efecto del mulch en la reducción de la geotemperatura en las distintas profundidades, un incremento de la humedad gravimétrica a 17,7 g/g y 18.9 g/g respectivamente y un nivel de aireación cercano al 28 por ciento de su capacidad máxima.

Esto se complementa al ensayo de Mobini, Ismail, y Arouiee, (2015) en cultivo de papa en condiciones óptimas de humedad y una aireación en un 26 por ciento de su nivel máximo, representó el nivel idóneo para alcanzar el mayor peso seco en hojas, tallos, raíz, tubérculos y estolones.

De manera similar en el ensayo de Ashrafuzzaman M. et al. en cultivo de *Capsicum annuum* L. con mulch de plástico, azul y transparente generó una humedad gravimétrica cercana a 20 g de agua /g de suelo seco, evidenciando una mayor altura, longitud de raíz, peso seco y fresco, a comparación del tratamiento con suelo desnudo.

El cultivo de *Solanum tuberosum* L. con un mulch de 10cm de grosor, presentaron una ligera disminución en el peso seco de tallos, raíces, hojas y peso fresco de hojas, a comparación del tratamiento de mulch con 5 y 7.5 cm de grosor debido a un leve nivel de aireación, menor al 25 por ciento de su capacidad máxima. Esto concuerda con el ensayo de Mobini et al. (2015) en cultivos de papa con niveles de aireación menor al 26 por ciento y condiciones óptimas de humedad, se evidenció una disminución del rendimiento y peso seco en general, principalmente el peso seco de las hojas.

El estrés anóxico es un factor perjudicial en condiciones de inundación de suelo, inhibe la respiración aeróbica en la raíz, reduce la producción de energía, lo que genera la reducción de translocación de nutrientes hacia las hojas (Yan and Dai, 1996, citado en Lin et al., 2006), además, la disminución de absorción de agua en la raíz, ocasiona un menor potencial hídrico foliar(Ekanayake, 1994). Adicionalmente en el ensayo en *Osmanthus fragrans* por Ni, Song, Zhang, Yang, & Wang, (2016) evidenció que el tratamiento con mulch orgánico de mayor grosor, no evidencia un incremento en la humedad, sin embargo, determina un menor crecimiento, actividad de la raíz y concentración de clorofila, posiblemente por la reducción del intercambio gaseoso.



Figura 25: Tratamiento control a los 60 dds



Figura 26: Tratamiento N°1 a los 60 dds



Figura 27: Tratamiento N° 2 a los 60 dds



Figura 28: Tratamiento N° 3 a los 60 dds

4.4. Análisis bioquímicos

4.4.1. Concentración de prolina foliar

Los residuos no se distribuyeron normalmente en la variable concentración de prolina. Se realizó una prueba no paramétrica, la prueba de Friedman evidenció diferencias significativas entre el tratamiento T1 y el resto de tratamientos (Anexo 1.23). Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada, se encuentran en la figura N° 29 y la tabla N° 18.

Tabla 18: Concentración de prolina

Tratamiento	Prolina (umoles/ g de muestra foliar)	
	60 dds	110 dds
T3	0.08433333 (ab)	0.13722944 (ab)
T2	0.0517316 (ab)	0.16948052 (ab)
T1	0.04675325 (b)	0.04480519 (b)
T0	0.1482684 (a)	0.25497835 (a)

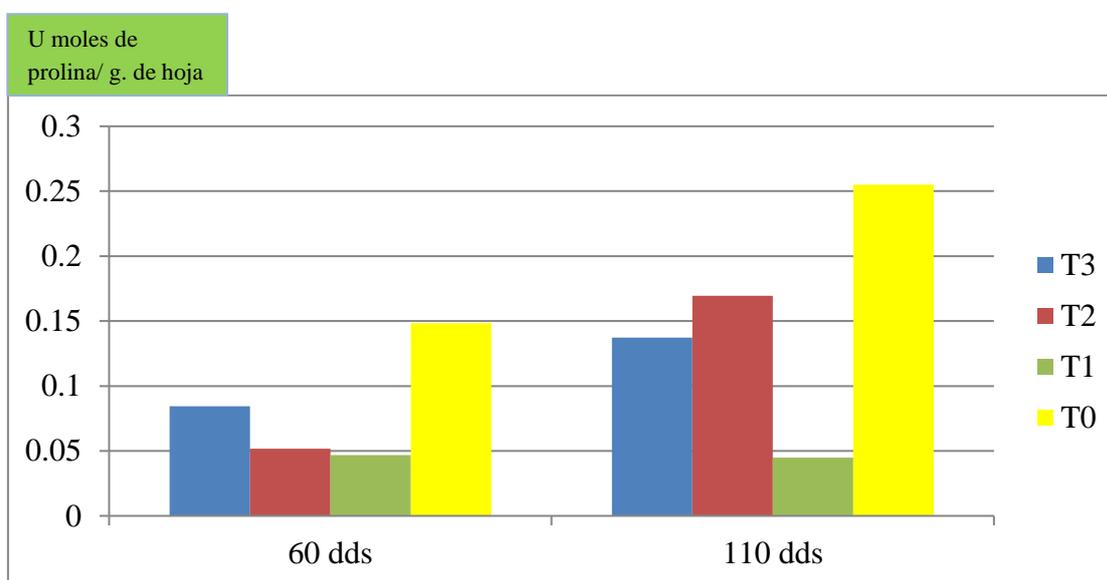


Figura 29: Concentración de prolina

La diferencia de la concentración foliar de este aminoácido, entre los tratamientos fue considerablemente notoria, a los 60 días después de la aplicación del mulch, y los niveles fueron muy elevados, a los 90 días posteriores a la aplicación del mulch, debido probablemente al incremento del estrés producto de la senescencia propia de la etapa del cultivo.

En las evaluaciones de acumulación de prolina, los tratamientos con mulch evidenciaron la menor concentración foliar, a comparación del tratamiento control, el cual presentó la mayor concentración del aminoácido. El estrés en la planta de papa, evidenció el efecto a nivel bioquímico, además de las evidentes diferencias en los análisis biométricos. La prolina funciona como osmoprotector, osmoregulador y secuestrador de ROS (Benavides et al., 2000, citación en Masoudi et al., 2011). La acumulación de prolina, se debió a la elevada incidencia de distintos tipos de estrés que influyen principalmente al tratamiento control, a comparación de los tratamientos con mulch.

El cual es apoyado por los ensayos de Yousry, El-mesirry, y Shama, (2015) , quienes evidencian que una mayor concentración de prolina está relacionado con la tolerancia al estrés por salinidad en cultivo de *Solanum tuberosum* L.. Además, el ensayo de Naz et al., (2018) en cultivo de *Solanum tuberosum* L., evidenció un incremento en la cantidad de prolina al incrementarse el estrés por elevadas temperaturas y según, David Levy (1983) el estrés hídrico en papa genera un incremento de concentración de prolina.

4.4.2. Concentración de clorofila foliar

4.4.2.1. Concentración de Clorofila A

En la variable concentración de clorofila A, no se evidenció distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas. La prueba de Friedman no determinó diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 1.24). Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada, se encuentran en la figura N°30 y la tabla N°19.

Tabla 19: Concentración de clorofila A

Tratamiento	Mg. de clorofila A/ gramos de tejido fresco	
	60 dds	90 dds
T3	0.010 (a)	0.005 (a)
T2	0.012 (a)	0.004 (a)
T1	0.010 (a)	0.009 (a)
T0	0.011 (a)	0.007 (a)

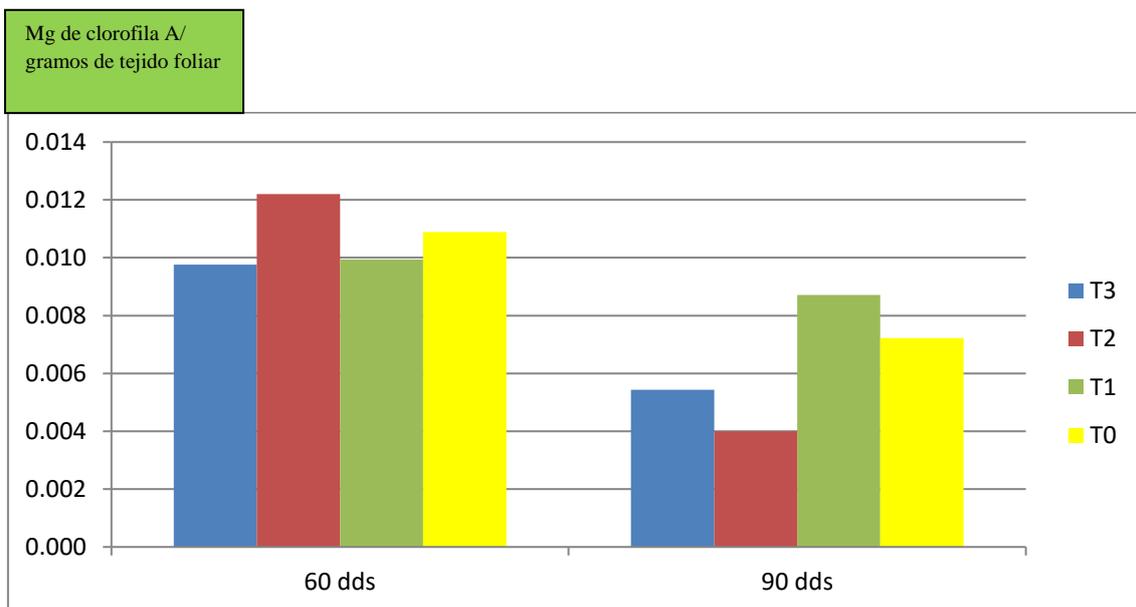


Figura 30: Concentración de clorofila A (mg de clorofila A/ g de tejido foliar fresco)

4.4.2.2. *Concentración de Clorofila B*

En la variable concentración de clorofila B, no se evidenció distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas. La prueba de Friedman no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 1.25). Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada, se encuentran en la figura N°31 y la tabla N° 20.

Tabla 20: Concentración foliar de clorofila B (mg de clorofila B/ g de tejido foliar)

Tratamiento	Mg de clorofila B/ gramos de tejido foliar	
	60 dds	90 dds
T3	0.008 (a)	0.005 (a)
T2	0.010 (a)	0.004 (a)
T1	0.008 (a)	0.007 (a)
T0	0.006 (a)	0.007 (a)

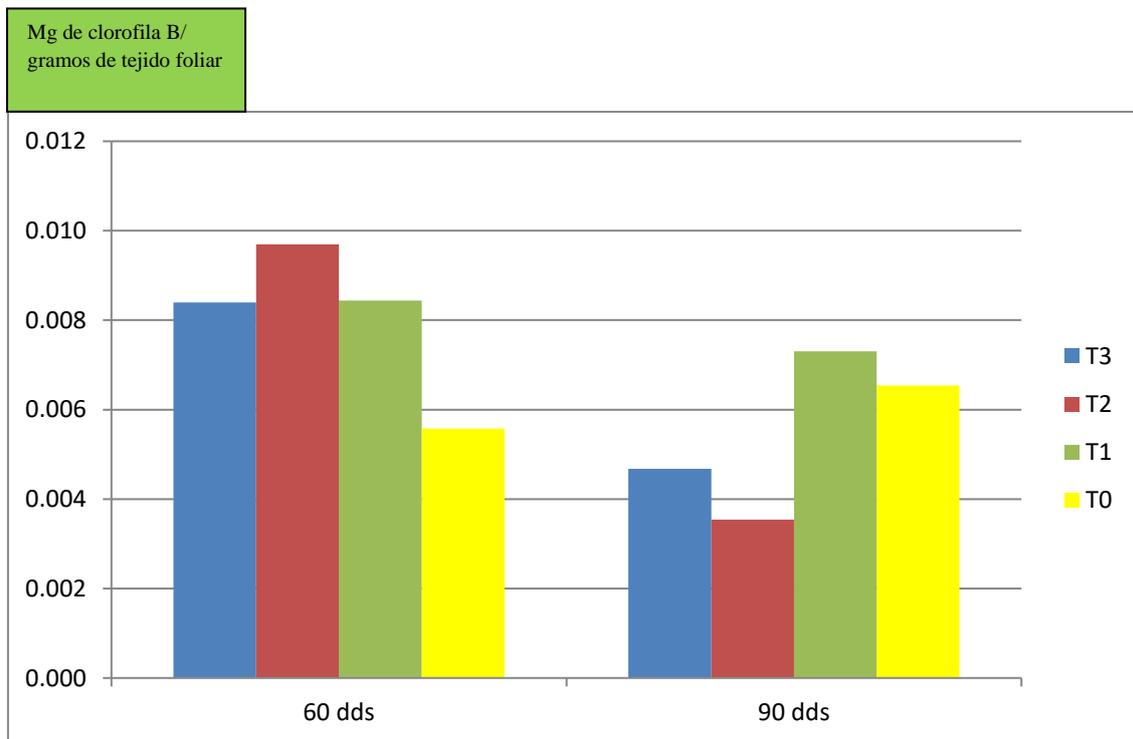


Figura 31: Concentración foliar de clorofila B (mg de clorofila B/ g de tejido foliar)

4.4.2.3. Concentración de Clorofila Total

En la variable concentración de clorofila B, no se evidenció distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas. La prueba de Friedman no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 1.26). Los promedios de los tratamientos para la variable previamente mencionada, se encuentran en la figura N°32 y la tabla N° 21.

Tabla 21: Concentración foliar de clorofila total
(mg de clorofila total/ g de tejido foliar)

Tratamiento	Mg de clorofila total / gramos de tejido foliar	
	60 dds	90 dds
T3	0.018 (a)	0.010 (a)
T2	0.022 (a)	0.006 (a)
T1	0.018 (a)	0.016 (a)
T0	0.016 (a)	0.014 (a)

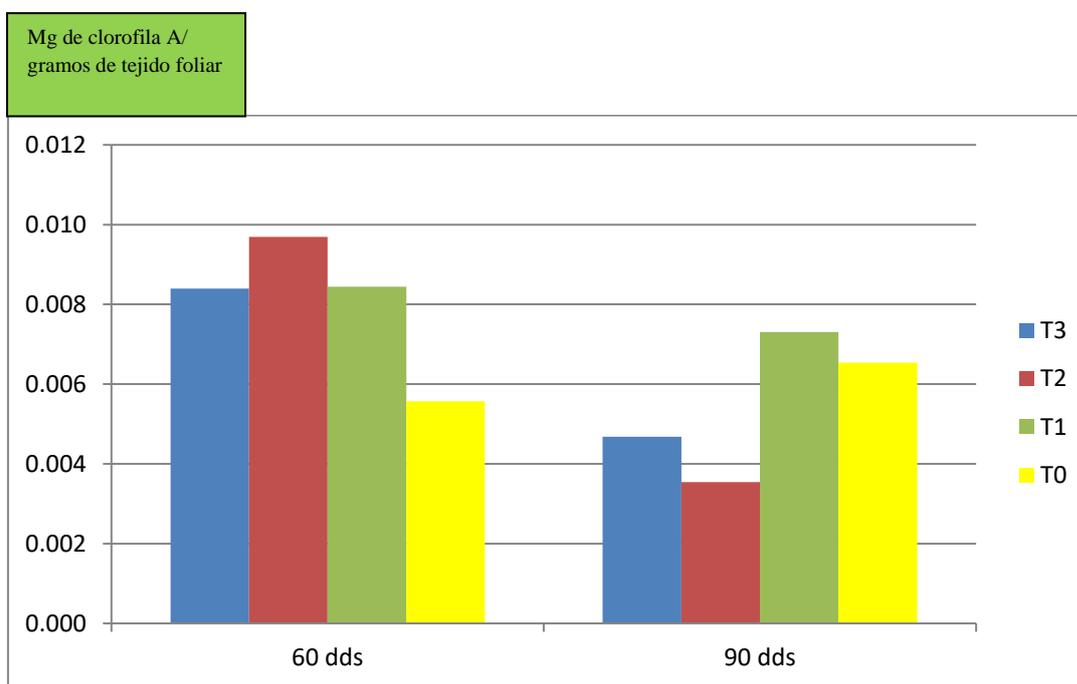


Figura 32: Concentración foliar de clorofila total
(mg de clorofila total/ g de tejido foliar)

El análisis de clorofila foliar, determinó una ausencia de diferencias significativas en el contenido en las hojas entre los tratamientos. De manera contraria, según Pulok et al., (2016) en ensayos en cultivo de papa, la presencia de diferentes mulch orgánico determinaron una superior concentración de clorofila foliar.

La ausencia de diferencia en el análisis de clorofila se debe al escaso número de muestras analizadas, además, la concentración de clorofila es una medida poco empleada, debido a la gran cantidad de muestra empleado durante el análisis (Nguyen y Joshi, 1992, citado en Domínguez, 2008).

4.5. Correlaciones

El análisis de correlación de Pearson ejercido entre las variables, se encuentra detallado brevemente en el (Anexo 1.27). De este análisis se resaltó las correlaciones altas o medias, dependiendo a su valor absoluto. Las correlaciones elevadas son mayores a 0.7 y las correlaciones medias constituyen valores mayores a 0.5 y menores a 0.7.

Las correlaciones altas:

- Clorofila A – clorofila B (0.87)
- Peso seco de tallo – número de hojas (0.63)
- Peso seco de tubérculos – Índice de Cosecha (0.88)
- Peso seco de tubérculos – Peso fresco de tubérculos (0.75)
- Peso fresco de tallos – peso seco de hojas (0.89)
- Peso fresco de hojas – concentración de prolina foliar (-0.77)

Las correlaciones medias:

- Peso seco de tallo – concentración de prolina foliar (-0.51)
- Peso fresco de tallo – concentración de prolina foliar (-0.62)
- Peso seco de tallo – número de hojas (0.63)
- Peso seco de raíz – peso fresco de tallos (0.65)
- Peso fresco de hojas – longitud de raíz (0.62)
- Número de hojas – concentración de prolina foliar (-0.58)

Mediante el uso de la prueba de coeficiente de correlación de Pearson, se evidenció una correlación media positiva (0.63) entre peso seco de tallo y número de hojas. Además, se presentó una correlación media positiva (0.65) entre el peso fresco de tallo y peso seco de raíz, usando la prueba de correlación de Pearson. Este resultado se apoya por el ensayo en cultivo de papa realizado por El-metwally & El-wakeel, (2019) con distintos mulch orgánicos, el cual evidencia un mayor número de hojas. El incremento de número de hojas, aumenta la superficie fotosintética, por lo tanto, provee una mayor producción y distribución de fotosintatos, generando un superior peso seco del tallo y de raíz.

Se determinó una correlación alta (0.62) entre el peso fresco de hojas y longitud de raíz, este resultado podría ser explicado por estudios in vitro en distintos genotipos de papa, los cuales muestran que las variedades más tolerantes a sequía presentaron mayor desarrollo radicular, a comparación de las variedades con menor tolerancia (Gopal e Iwama, 2007, citado en Pino, 2016 pág 17).

Se evidenció una correlación elevada (0.89) entre el peso fresco de tallos y peso seco de hojas. El incremento de peso seco y fresco de hojas, evidencia una mayor producción y distribución de fotosintatos, generando un superior peso seco y contenido de agua del tallo.

Mediante el uso de la prueba de coeficiente de correlación de Pearson, se presentó una correlación media negativa (-0.51) entre la concentración de prolina foliar y el peso seco de tallos. Adicionalmente una correlación alta negativa (-0.62) entre la concentración de prolina foliar y peso fresco de tallos. En el ensayo con mulch orgánico e inorgánico en cultivo de papa de Islam (2008), se determinó un mayor peso seco y fresco de tallo, esto se debe a que el mulch reduce el estrés térmico e hídrico, esto se apoya por el trabajo elaborado por Heuer y Nadler (1995) en cultivos de papa, quienes evidencian que a medida que se incrementaba el grado de estrés hídrico y salino, manifestaban una reducción más severa en la producción de fotosintatos ,y distribución al tallo y a los tubérculos. Adicionalmente en el ensayo en cultivo de papa ejercido por Masoudi et al., (2011) en condiciones de escasa irrigación, se evidencia un incremento en la concentración de prolina foliar.

Además, se evidenció una correlación negativa entre la concentración de prolina foliar y el número de hojas y adicionalmente, con el peso fresco de hojas. Esto se apoya por el trabajo de Naz et al., (2018) en cultivo de papa, quienes evidencian que en condiciones de temperatura muy alta, la acumulación de prolina se incrementa y disminuye el peso fresco y

seco de las hojas. Adicionalmente, en el ensayo en cultivo de papa realizado por El-metwally & El-wakeel, (2019) con distintos mulch orgánicos, evidencian un mayor número de hojas.

Mediante el uso de la prueba de coeficiente de correlación de Pearson, se evidenció una correlación elevada entre clorofila A y B (0.87). Este resultado se complementa con el ensayo realizado por Khaleghi, Arzani, Moallemi, y Barzegar, (2012), quienes evidencian que el estrés oxidativo disminuye el contenido de clorofila A y totales producto de la degradación, deficiencia en síntesis o cambios en la estructura de la membrana tilacoidal.

Se presenta una correlación alta (0.88) entre el peso seco de tubérculos y el índice de cosecha. Además se evidenció una correlación alta (0.75) entre el peso seco y fresco de tubérculos, esto es debido a la inclusión del peso seco de los tubérculos en la fórmula para determinar el índice de cosecha. Adicionalmente, en el ensayo de Pulok et al., (2016) en cultivo de papa, evidenció un mayor peso fresco y seco de los tubérculos.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados se determinó las siguientes conclusiones:

- A mayor grosor de mulch de grass se genera una superior retención de humedad con valores cercanos a un 300 por ciento, una disminución de la temperatura más elevada con un valor máximo de 7°C y temperatura mínima con un valor máximo de 4°C, a nivel de superficie en el mes de Febrero, y una reducción de la aireación del suelo con valores menores a 30 por ciento de su capacidad máxima.
- El mulch amortigua los efectos del estrés biótico y abiótico. Los tratamientos de mulch de grass de 5 cm y 7,5 cm de grosor, demuestran un superior valor en muchas de las variables de crecimiento y menor concentración de prolina foliar, lo que demuestra un menor grado de estrés. El mulch de 10 cm de grosor, evidencia un estrés anóxico, lo que generó una reducción de su crecimiento en algunas variables, a comparación de los demás tratamientos con mulch.
- De acuerdo al análisis de correlación se puede concluir que las variables peso seco de hojas, tallo y concentración de prolina foliar, son buenos indicadores del grado de incidencia del estrés térmico, hídrico y salino, en el desarrollo y rendimiento de la planta de papa variedad “Canchán”.
- El rendimiento fue mayor en los tratamientos con mulch de grass, a comparación del tratamiento control.

VI. RECOMENDACIONES

- Continuar en la búsqueda de un método para reducir con mayor amplitud el estrés térmico, debido a que las temperaturas para un adecuado desarrollo y tuberización de la planta de papa son muy bajas.
- Buscar variedades resistentes al estrés hídrico, térmico y salino, mediante programas de mejoramiento genético.
- Optar por bolsas de invernadero de color claro, que otorguen una amplia reflexión de la radiación solar.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abuarab, M. E., Mostafa, E., & Shahien, M. M. (2014). Root aeration improves yield and water use efficiency of irrigated potato in sandy clay loam soil. *International Journal of Advanced Research*, 2(10), 310–320.
- Amini, R., & Alami-Milani, M. (2013). Effect of mulching on soil, canopy and leaf temperature of lentil (*Lens culinaris* Medick.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2(20), 797–802. Retrieved from www.ijfas.com
- Aramburú, C., & Mendoza, W. (2015). El futuro de la población peruana: problemas y oportunidades. *Debates En Sociología*, 41, 5–24. Retrieved from <http://www.unfpa.org.pe/Articulos/Articulos/ARAMBURU-MENDOZA-Debates-Sociologia.pdf>
- Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2013). Photosynthesis under stressful environments : An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163–190. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6>
- Ashrafuzzaman, M., Halim, M. A., Ismail, M. R., Shahidullah, S. M., & Hossain, A. (2011). Effect of Plastic Mulch on Growth and Yield of Chilli (*Capsicum annum* L .). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(2), 321–330.
- Bagherzadeh, A., Gholizadeh, A., & Keshavarzi, A. (2018). Assessment of soil fertility index for potato production using integrated Fuzzy and AHP approaches , Northeast of Iran. *Eurasian Journal of Soil Science*, 7(3), 203–212. <https://doi.org/10.18393/ejss.399775>
- Begum, M., Saikia, M., Sarmah, A., & Ojah, N. J. (2018). Water Management for Higher Potato Production : A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(05), 24–26.
- Bhardwaj, R. L. (2013). EFFECT OF MULCHING ON CROP PRODUCTION UNDER RAINFED CONDITION - A REVIEW. *AGRICULTURAL RESEARCH*

- Bitá, C. E., & Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment : scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, 4(July), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273>
- Boscaiu, M., Lull, C., Lidon, a, Bautista, I., Donat, P., Mayoral, O., & Vicente, O. (2008). Plant Responses To Abiotic Stress in Their Natural Habitats. *Horticulture*, 65(1), 53–58.
- Bowen, W. (2003). Water Productivity and Potato Cultivation. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, 1, 229–238.
- Boza, G. (2014). *El derecho frente a la crisis del agua en el Perú: Primeras jornadas de derecho de aguas*. (A. Guevara & A. Verona, Eds.) (1st ed.). Lima: Reátegui, Rocío.
- Díaz, P. (2016). *Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa criolla (Solanum phureja Juz et Buk)*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/51030/1/43996958.2016.pdf>
- Dvorák, P., Hamouz, K., Kuchtová, P., & Tomásek, J. (2009). EFFECT OF GRASS MULCH APPLICATION ON TUBERS SIZE AND YIELD OF WARE POTATOES IN ORGANIC FARMING. *Bioacademy*, 1, 35–38.
- Dvořák, P., Tomášek, J., Hajšlová, J., Schulzová, V., Kuchtová, P., & Hamouz, K. (2012). Effect of mulching materials on potato production in different soil-climatic conditions. *ROMANIAN AGRICULTURAL RESEARCH*, 29, 200–209.
- Eggink, L. L., Park, H., & Hooper, J. K. (2001). The role of chlorophyll b in photosynthesis : Hypothesis. *BioMed Research International*, 2(May 2014), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-1-2>
- Ekanayake, I. J. (1994). Deleterious influence of water-logging on potato in warm climates. *Acta Horticulturae*, 380, 506–511. Retrieved from [doi:10.17660/actahortic.1994.380.79](https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.380.79)
- El-metwally, I. M., & El-wakeel, M. A. (2019). Comparison of safe weed control methods with chemical herbicide in potato field. *Bulletin of the National Research Centre*, 6(43), 1–7.

- Eruola, A., Bello, N., Ufoegbune, G., & Makinde, A. (2012). Effect of Mulching on Soil Temperature and Moisture Regime on Emergence, Growth and Yield of White Yam in a Tropical Wet-and-Dry Climate. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 2(1), 93–100. <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20120203.04>
- Finckh, M. R., Bruns, C., Bacanovic, J., Junge, S., & Schmidt, J. (2015). Organic potatoes , reduced tillage and mulch. *The Organic Grower*, 33, 20–22.
- García, J. (1992). *Agrometeorología Energía y Agua en la agricultura*. (E. Martell, Ed.) (Universida). Lima.
- Gaspar, T., Franck, T., Bisbis, B., Kevers, C., Jouve, L., Hausman, J. F., & Dommes, J. (2002). Concepts in plant stress physiology . Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation*, 37, 263–286.
- Gomez, C. (2012). *EFECTO DE DISTINTOS MULCHINGS SOBRE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL SUELO, ESTADO HÍDRICO, INCIDENCIA DE MALEZAS Y CRECIMIENTO DE UN CULTIVO EN IMPLANTACIÓN DE MANDARINA NOVA EN CONCORDIA, ENTRE RÍOS*. Universidad Nacional del Litoral.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 9643–9645. <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>
- Hassanpanah, D. (2010). Evaluation of Potato Cultivars for Resistance Against Water Deficit Stress Under In Vivo Conditions. *Biotechnology*, 9(2), 383–392. <https://doi.org/10.1007/s11540-010-9179-5>
- Havaux, M. (1993). Characterization of thermal damage to the photosynthetic electron transport system in potato leaves. *Plant Science*, 94, 19–33.
- Hemantaranjan, A., Nishant, A., Singh, M., & Yadav, D. (2014). Heat Stress Responses and Thermotolerance. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 1(3), 62–70. <https://doi.org/10.15406/apar.2014.01.00012>
- Heuer, B., & Nadler, A. (1995). Growth and Development of Potatoes under Salinity and Water Deficit. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46(7), 1477–1486.

- Huanca, Z. (1999). *Influencia de 3 frecuencias de riego en los rendimientos de papa variedades, Tomasa Condamayta y revolución*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Huarte, M., & Apezio, S. (2013). Cultivo de Papa. *Unidad Integrada Balcarce INTA- FCA UNMdPA, 1*, 1–25.
- Ibrahim, E., & Ibrahim, A. (2005). *Heat stress in plants* (No. 1) (Vol. 7). Saudi Arabia.
- İnanç, A. (2011). Chlorophyll: Structural Properties, Health Benefits and Its Occurrence in Virgin Olive Oils. *Akademik Gıdatr (A.L. İnanç)*, 9(2), 90–344. Retrieved from <http://www.academicfoodjournal.com>
- Islam, Z. (2008). *EFFECT OF MULCHING ON TWO VARIETIES OF POTATO*. Sher-e-Bangla Agricultural University Dhaka-1207. Retrieved from file:///C:/Users/GIANCARLO/Downloads/SAU200801_38-07-02618_11.pdf
- Jodaugienø, D., Pupalienø, R., Marcinkevicienø, A., & Bajorienø, K. (2012). INTEGRATED EVALUATION OF THE EFFECT OF ORGANIC MULCHES AND DIFFERENT MULCH LAYER ON AGROCENOSIS Darija Jodaugien ø , Rita Pupalien ø , Aušra Marcinkevi þ ien ø , Aušra Sinkevi þ ien ø , Kristina Bajorien ø . *Hortorum Cultus, 11*(2), 71–81.
- Jones, H., Flowers, T., & Jones, M. (1989). *Plants under stress*. (H. Jones, T. Flowers, & M. Jones, Eds.), *Society for Experimental Biology* (39th ed.). Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge.
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., & Barzegar, M. (2012). Evaluation of Chlorophyll Content and Chlorophyll Fluorescence Parameters and Relationships between Chlorophyll a , b and Chlorophyll Content Index under Water Stress in *Olea europaea cv . Dezful*. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 68, 1–5.
- Kranner, I., Minibayeva, F. V, Beckett, R. P., & Seal, C. E. (2010). What is stress ? Concepts , definitions and applications in seed science. *New Phytologist*, 188, 655–673.
- Lambers, H., Chapin, F., & Pons, T. (2008). *Plant Physiological Ecology. Journal of Chemical Information and Modeling* (2nd ed., Vol. 53). New York: Springer Science and Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3>

- Largaespada, K., & Henriquez, C. (2015). DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA HUMEDAD Y SU RELACIÓN CON LA TEXTURA EN UN SUELO. *Agronomía Costarricense*, 39(3), 140.
- Lehar, L., Wardiyati, T., Moch, D., & Suryanto, A. (2017). Influence of mulch and plant spacing on yield of *Solanum tuberosum* L . cv . Nadiya at medium altitude. *International Food Research Journal*, 24(June), 1338–1344.
- Levy, D, Fogelman, E., & Itzhak, Y. (1988). The effect of water salinity on potatoes (*Solanum tuberosum* L .): Physiological indices and yielding capacity. *Potato Research*, 31, 601–610.
- Levy, David. (1983). Water deficit enhancement of proline and amino nitrogen accumulation in potato plants and its association with susceptibility to drought Water deficit enhancenment of proline and a-amino nitrogen accomulation in potato plants and its association with susc. *Physiologia Plantarum*, 57, 1–7. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1983.tb00749.x>
- Levy, David, & Veilleux, R. E. (2007). Adaptation of potato to high temperatures and salinity. *American Journal of Potato Research*, 84(6), 487–506. <https://doi.org/10.1007/BF02987885>
- Lin, K., Chao, P., Yang, C., Cheng, W., Lo, H., & Chang, T. (2006). The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves. *Botanical Studies*, 47, 417–426.
- Loayza, D. (1993). *Evaluación de 2 tipos de mulch en los regímenes de humedad, temperatura del suelo y rendimiento del cultivo de papa, Solanum tuberosum L. var. Tomasa Condemayta*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Lozano, F. (2015). *EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN QUINCE GENOTIPOS DE PAPA (Solanum tuberosum L.) BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO POR SEQUÍA*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Masoudi, F., Mandoulakani, B., Tavakoli, A., & Rasouli, M. (2011). Response of proline, Soluble Sugars, Photosynthetic Pigments and Antioxidant Enzymes in Potato (*Solanum tuberosum* L.) to Different Irrigation Regimes in Greenhouse Condition. *Australian Journal of Crop Science*, 5(1), 55–60.

- Maza, S. (2011). La papa nuestra de cada día. *Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, 1*, 1–13.
- Mobini, S. H., Ismail, M. R., & Arouiee, H. (2015). The impact of aeration on potato (*Solanum tuberosum* L.) minituber production under soilless conditions. *African Journal of Biotechnology, 14*(11), 910–921. <https://doi.org/10.5897/AJB09.111>
- Molina, M., Orellana, R., Bastida, F., Hernández, M. T., & García, C. (2010). *Efectos de la aplicación de materia orgánica en la actividad de los suelos degradados por salinidad*. Murcia.
- Morales, C., Dascal, G., & Aranibar, Z. (2013). Estudio de los costos de la desertificación y degradación de las tierras en el departamento de Piura (Perú). *Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL), 1*, 97. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Moreno F, L. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. *Agronomía Colombiana, 27*(2), 179–191.
- Naz, N., Durrani, F., Shah, Z., Khan, N., & Ullah, I. (2018). Influencia del estrés por temperatura en las actividades de crecimiento y fisiológicas de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Internacional de Botánica Experimental, (87)*, 225–230.
- NeBambi, L., Ortiz, O., Haverkort, A., & Caldiz, D. (2009). *Sustainable potato production. International Year of the Potato* (Lutaladio, Vol. 127). Güeldres. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.08.003>
- Ni, X., Song, W., Zhang, H., Yang, X., & Wang, L. (2016). Effects of Mulching on Soil Properties and Growth of Tea Olive (*Osmanthus fragrans*). *PLOS ONE, 11*(8), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158228>
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L.-S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science, 5*(March), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
- Pino, M. (2016). Estrés Hídrico y Térmico en Papas, Avances y Protocolos. *INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, 1*, 1–149.
- Porter, G. A., Opena, G. B., Bradbury, W. B., Mcburnie, J. C., & Sisson, J. A. (1999). Soil

- Management and Supplemental Irrigation Effects on Potato: I. Soil Properties, Tuber Yield, and Quality. *Agronomy Journal*, *91*, 416–425.
- Pulok, A. I., Roy, T. S., Bhuiyan, S. R., Haque, N., & Nur-unnaahar. (2016). EFFECT OF POTASSIUM AND MULCHES ON GROWTH , YIELD AND ECONOMICS OF POTATO. *Potato Journal*, *43*(2), 200–210.
- Rejeb, I., Pastor, V., & Mauch-Mani, B. (2014). Plant Responses to Simultaneous Biotic and Abiotic Stress: Molecular Mechanisms. *Plants*, *3*(4), 458–475. <https://doi.org/10.3390/plants3040458>
- Restrepo, H., Gómez, M. I., Garzón, A., Alzate, F., & López, J. (2013). Respuesta bioquímica de plántulas de maíz (*Zea mays* L .) a diferentes condiciones de temperaturas nocturnas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *7*(2), 252–262.
- Rhodes, D., & Nadolska-Orczyk, A. (2001). Plant Stress Physiology. *Encyclopedia of Life Sciences*, (August), 1–8. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0001297>
- Rodríguez, L. (2015). *Caracterización de la respuesta fisiológica de tres variedades de papa (Solanum tuberosum L.) bajo condiciones de estrés por déficit hídrico*. Universidad Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/50972/1/797035.2016.pdf>
- Rykaczewska, K. (2013). The Impact of High Temperature during Growing Season on Potato Cultivars with Different Response to Environmental Stresses. *American Journal of Plant Sciences*, *4*, 2386–2393. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412295>
- Sánchez, C., Souza, Z., Menezes De Souza, Z., Matura, E., & Salamao de Freitas, N. (2010). Efecto de la cobertura en las propiedades del suelo y en la producción de frijol irrigado. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *13*(2), 41–50.
- Sánchez, M., & Meza, R. (2015). EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PAPA BAJO LA APICACIÓN DEL RIEGO DEFICITARIO (PRD) UTILIZANDO CINTAS DE RIEGO. *Anales Científicos*, *76*(1), 21–28.
- Savoure, A., & Szabados, L. (2009). Proline : a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, *15*(2), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
- Senamhi. (2015). Requerimientos Agroclimáticos del Cultivo de Papa. La Molina:

Ministerio de Agricultura y Riego.

- SINGH, J. (2011). *EFFECT OF PLASTIC MULCHING, PLANTING METHODS AND FERTILITY LEVELS ON YIELD AND QUALITY OF POTATO (SOLANUM TUBEROSUM L.)*. CSK Himachal Pradesh Agriculture University.
- Sinkevičienė, A., Jodaugienė, D., Pupalienė, R., & Urbonienė, M. (2009). The influence of organic mulches on soil properties and crop yield. *Agronomy Research*, 7(I), 485–491.
- Teixeira, A. L., Pinto, C. A. B. P., Lepre, A. L., Peixoto, L. S., & Ribeiro, G. H. M. R. (2015). Evaluation of potato clones for heat tolerance in the southern region of Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 10(2), 171–177. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i2a3268>
- Trehan, S., Upadhyay, N., Sud, K., Kumar, M., Jatav, M., & Lal, S. (2008). Nutrient Management in Potato. *Central Potato Research Institute*, 90, 1–28. https://doi.org/10.1007/3-540-32479-8_6
- Ucles, G. (2011). *Cuatro colores de mulch plástico y mulch orgánico en la incidencia de áfidos y mosca blanca, y rendimientos y sacarosa disuelta (° Bx) en melón*. Zamorano, Honduras. Retrieved from <http://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/589>
- Wahid, A., Rasheed, R., Farooq, M., Hussain, I., & Basra, S. (2012). Role of proline and glycinebetaine pretreatments in improving heat tolerance of sprouting sugarcane (*Saccharum sp.*) buds. *Plant Growth Regul*, 1, 1–12. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0815-4>
- Yamamoto, Y. (2016). Quality Control of Photosystem II : The Mechanisms for Avoidance and Tolerance of Light and Heat Stresses are Closely Linked to Membrane Fluidity of the Thylakoids. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01136>
- Yousry, M., El-mesirry, D. S., & Shama, M. A. (2015). Effect of Proline on Resistance of Potato Crop (*Solanum tuberosum L.*) for the Negative Effects of Water Irrigation Salinity. *Current Science International*, 4(1), 172–177.
- Zerga, K., Alemu, M., Tebasa, F., & Tesfaye, B. (2017). IMPACTS OF DIFFERENT MULCHING MATERIAL ON SEEDLING EMERGENCE AND GROWTH

PERFORMANCE OF HOT PEPPER (*CAPSICUM ANNUM L*) AT GURAGE ZONE,
ETHIOPIA. *International Multidisciplinary Research Journal*, 7, 1–4.
<https://doi.org/10.25081/imrj.2017.v7.3362>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de crecimiento, rendimiento y bioquímico

Anexo 1. 1: Altura de la planta - 90 dds

Prueba de normalidad de Errores

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Tamaño 90 dds	15	0.00	8.41	0.85	0.0310

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
2.00	3.25	2.00	2.75	0.87	0.4912

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 8.397

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
T0	8.00	2.00	4 A
T2	8.00	2.00	4 A
T3	11.00	2.75	4 A
T1	13.00	3.25	4 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$)

Anexo 1. 2: Número de tallos - 90 dds

Prueba de normalidad de Errores

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO N° de tallos 90 dds	20	0.00	1.34	0.87	0.0202

Continuación...

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
2.20	2.10	3.10	2.60	0.62	0.6135

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 8.873

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
T1	10.50	2.10	5 A
T0	11.00	2.20	5 A
T3	13.00	2.60	5 A
T2	15.50	3.10	5 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.050)

Anexo 1. 3: Número de hojas - 90 dds

Prueba de Normalidad de errores

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Nuevo N° hojas 90 dds..	20	0.00	12.42	0.93	0.2956

Homogeneidad de Varianzas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Nuevo N° hojas 90 dds..	20	0.32	0.19	106.56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	526.94	3	175.65	2.45	0.1008
Grupo	526.94	3	175.65	2.45	0.1008
Error	1145.39	16	71.59		
Total	1672.33	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=24.49975

Error: 183.3250 gl: 16

Grupo	Medias	n	E.E.
T0	25.60	5	6.06 A
T1	28.00	5	6.06 A
T2	31.20	5	6.06 A
T3	33.10	5	6.06 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Continuación...

Anexo 1. 4: Longitud de raíz - 90 dds

Prueba de normalidad de Errores

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO longitud de raíz 90 d..	21	0.00	1.72	0.93	0.3651

Prueba de homogeneidad de Varianzas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS longitud de raíz 90 d..	21	0.02	0.00	83.93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.51	3	0.17	0.14	0.9371
Grupo	0.51	3	0.17	0.14	0.9371
Error	21.32	17	1.25		
Total	21.84	20			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	54.04	3	18.01	5.17	0.0101
Grupo	54.04	3	18.01	5.17	0.0101
Error	59.23	17	3.48		
Total	113.27	20			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.37570

Error: 3.4842 gl: 17

Grupo Medias n E.E.

T0	8.50	4	0.93	A
T1	8.67	4	0.93	A B
T3	11.86	7	0.71	A B
T2	11.92	6	0.76	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 5: Peso seco hojas - 90 dds

Prueba de normalidad de Errores

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO peso seco hojas 90 dd..	19	0.00	0.81	0.85	0.0115

Continuación...

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
1.75	3.63	2.63	2.00	2.26	0.1507

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 7.114

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n	
T0		7.00	1.75	4 A
T3		8.00	2.00	4 A B
T2		10.50	2.63	4 A B
T1		14.50	3.63	4 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$)

Anexo 1. 6: Peso seco tallos - 90 dds

Prueba de normalidad de Errores

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO peso seco tallo 90 dd..	19	0.00	0.43	0.86	0.0130

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
1.75	3.50	3.25	1.50	5.00	0.0261

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 5.841

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n	
T3		6.00	1.50	4 A
T0		7.00	1.75	4 A B
T2		13.00	3.25	4 C
T1		14.00	3.50	4 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$)

Anexo 1. 7: Peso seco raíz - 90 dds

Prueba de normalidad de Errores

Continuación...

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO peso seco raíz 90 dds..	19	0.00	0.13	0.97	0.9282

Prueba de homogeneidad de Varianzas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS peso seco raíz 90 dds..	19	0.39	0.27	68.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	3	0.01	3.22	0.0530
Grupo	0.04	3	0.01	3.22	0.0530
Error	0.07	15	4.4E-03		
Total	0.11	18			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	3	0.01	0.30	0.8271
Grupo	0.02	3	0.01	0.30	0.8271
Error	0.29	15	0.02		
Total	0.30	18			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.26270

Error: 0.0192 gl: 15

Grupo	Medias	n	E.E.
T0	0.30	4	0.07 A
T1	0.31	4	0.07 A
T3	0.32	6	0.06 A
T2	0.38	5	0.06 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 8: Peso seco tubérculos - 60 dds

Prueba de normalidad de Errores

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso seco tubérculos ..	12	0.00	0.17	0.87	0.1194

Prueba de homogeneidad de Varianzas

Continuación...

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso seco tubérculos ..	12	0.42	0.20	108.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.07	3	0.02	1.93	0.2038
Grupo	0.07	3	0.02	1.93	0.2038
Error	0.10	8	0.01		
Total	0.17	11			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.44	3	1.15	30.49	0.0001
Grupo	3.44	3	1.15	30.49	0.0001
Error	0.30	8	0.04		
Total	3.74	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.50710

Error: 0.0376 gl: 8

Grupo	Medias	n	E.E.	
T0	0.00	3	0.11	A
T2	1.04	3	0.11	B
T3	1.26	3	0.11	B
T1	1.34	3	0.11	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 1. 9: Peso seco tubérculos - 90 dds

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
1.00	3.00	2.75	3.25	5.00	0.0261

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 5.841

Tratamiento	Suma(Ranks)	Media(Ranks)	n	
T0	4.00	1.00	4	A
T2	11.00	2.75	4	B
T1	12.00	3.00	4	B
T3	13.00	3.25	4	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.050)

Anexo 1. 10: Índice de Cosecha - 60 dds

Continuación...

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
1.00	2.33	3.00	3.67	7.00	0.0219

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 4.467

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
T0		3.00	1.00 3 A
T1		7.00	2.33 3 A B
T2		9.00	3.00 3 B
T3		11.00	3.67 3 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.050)

Anexo 1. 11: Índice de Cosecha - 90 dds

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
1.10	2.30	3.20	3.40	8.25	0.0030

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 5.626

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
T0		5.50	1.10 5 A
T1		11.50	2.30 5 B
T2		16.00	3.20 5 B
T3		17.00	3.40 5 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.050)

Anexo 1. 12: Peso fresco hojas 30 dds

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO Peso hojas 30dds	12	0.00	2.68	0.88	0.1582

Continuación...

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso hojas 30dds	12	0.10	0.00	57.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.57	3	0.52	0.30	0.8237
Grupo	1.57	3	0.52	0.30	0.8237
Error	13.90	8	1.74		
Total	15.47	11			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	227.57	3	75.86	7.67	0.0097
Grupo	227.57	3	75.86	7.67	0.0097
Error	79.10	8	9.89		
Total	306.67	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=8.22179

Error: 9.8875 gl: 8

Grupo Medias n E.E.

T0	5.39	3	1.82	A
T1	12.83	3	1.82	A B
T2	15.25	3	1.82	B
T3	16.70	3	1.82	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 13: Peso fresco hojas 60 dds

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso hojas 60 dds	12	0.00	0.50	0.92	0.4865

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso hojas 60 dds	12	0.24	0.00	94.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.28	3	0.09	0.83	0.5154
Grupo	0.28	3	0.09	0.83	0.5154
Error	0.92	8	0.11		
Total	1.20	11			

Continuación...

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.53241

Error: 0.3435 gl: 8

Grupo	Medias	n	E.E.	
T0	2.22	3	0.34	A
T3	5.62	3	0.34	B
T2	8.73	3	0.34	C
T1	9.18	3	0.34	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 14: Peso fresco hojas 90 dds

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso hojas 90 dds	12	0.00	1.23	0.95	0.7360

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso hojas 90 dds	12	0.51	0.32	93.34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.54	3	1.51	2.74	0.1130
Grupo	4.54	3	1.51	2.74	0.1130
Error	4.42	8	0.55		
Total	8.96	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.76249

Error: 2.0706 gl: 8

Grupo	Medias	n	E.E.	
T0	1.87	3	0.83	A
T2	6.03	3	0.83	B
T3	6.26	3	0.83	B
T1	6.89	3	0.83	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 15: Peso fresco tallo 30 dds

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
1.00	2.67	3.00	3.33	3.63	0.0841

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 5.651

Tratamiento	Suma(Ranks)	Media(Ranks)	n
T0	3.00	1.00	3 A
T1	8.00	2.67	3 A B
T2	9.00	3.00	3 B
T3	10.00	3.33	3 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.050)

Anexo 1. 16: Peso fresco tallo 60 dds

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso tallos 60 dds	12	0.00	1.04	0.97	0.9448

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso tallos 60 dds	12	0.38	0.14	103.69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.42	3	0.81	1.61	0.2615
Grupo	2.42	3	0.81	1.61	0.2615
Error	4.00	8	0.50		
Total	6.41	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.20095

Error: 1.4987 gl: 8

Grupo	Medias	n	E.E.
T0	5.32	3	0.71 A
T3	9.67	3	0.71 B
T2	10.37	3	0.71 B
T1	14.12	3	0.71 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 1. 17: Peso fresco de tallo 90 dds

Continuación...

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso tallos	12	0.00	1.99	0.96	0.8128

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso tallos	12	0.44	0.24	81.90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.68	3	2.89	2.13	0.1740
Grupo	8.68	3	2.89	2.13	0.1740
Error	10.84	8	1.36		
Total	19.53	11			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12.24	3	4.08	0.75	0.5546
Grupo	12.24	3	4.08	0.75	0.5546
Error	43.78	8	5.47		
Total	56.02	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.11660

Error: 5.4723 gl: 8

Grupo	Medias	n	E.E.
T0	3.58	3	1.35 A
T1	5.41	3	1.35 A
T3	5.90	3	1.35 A
T2	6.17	3	1.35 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 18: Peso fresco de raíz 30 dds

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS peso Raíz 30 dds	12	0.62	0.48	60.20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.56	3	1.85	4.40	0.0417
Grupo	5.56	3	1.85	4.40	0.0417
Error	3.37	8	0.42		
Total	8.94	11			

Continuación...

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
2.00	2.00	3.33	2.67	0.65	0.6128

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 8.238

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
T1	6.00	2.00	3 A
T0	6.00	2.00	3 A
T3	8.00	2.67	3 A
T2	10.00	3.33	3 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.050)

Anexo 1. 19: Peso Fresco de raíz 60 dds

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO Peso raíz 60 dds	12	0.00	0.30	0.95	0.7798

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso raíz 60 dds	12	0.17	0.00	91.56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.07	3	0.02	0.56	0.6550
Grupo	0.07	3	0.02	0.56	0.6550
Error	0.32	8	0.04		
Total	0.39	11			

Continuación...

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.86	3	0.29	2.37	0.1466
Grupo	0.86	3	0.29	2.37	0.1466
Error	0.97	8	0.12		
Total	1.82	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.90880

Error: 0.1208 gl: 8

Grupo	Medias	n	E.E.
T0	0.94	3	0.20 A
T1	1.45	3	0.20 A
T2	1.49	3	0.20 A
T3	1.66	3	0.20 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 20: Peso fresco de la raíz 90 dds

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso fresco raíz 90 d..	16	0.00	0.68	0.93	0.4861

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso fresco raíz 90 d..	16	0.18	0.00	118.27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.70	3	0.23	0.88	0.4782
Grupo	0.70	3	0.23	0.88	0.4782
Error	3.18	12	0.26		
Total	3.88	15			

Continuación...

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.18	3	2.06	3.58	0.0468
Grupo	6.18	3	2.06	3.58	0.0468
Error	6.90	12	0.58		
Total	13.08	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.59229

Error: 0.5753 gl: 12

Grupo	Medias	n	E.E.	
T0	0.63	4	0.38	A
T1	1.83	4	0.38	A B
T2	1.84	4	0.38	A B
T3	2.31	4	0.38	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 21: Peso fresco de tubérculos 60 dds

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso tubérculos 60 dd..	12	0.00	1.16	0.90	0.2429

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso tubérculos 60 dd..	12	0.45	0.24	103.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.70	3	1.23	2.16	0.1709
Grupo	3.70	3	1.23	2.16	0.1709
Error	4.57	8	0.57		
Total	8.27	11			

Continuación...

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	99.93	3	33.31	18.14	0.0006
Grupo	99.93	3	33.31	18.14	0.0006
Error	14.69	8	1.84		
Total	114.62	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.54340

Error: 1.8365 gl: 8

Grupo	Medias	n	E.E.	
T0	0.00	3	0.78	A
T2	5.19	3	0.78	B
T3	5.51	3	0.78	B
T1	7.92	3	0.78	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 22: Peso fresco de tubérculos 90 dds

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso fresco tubérculo..	20	0.00	1.92	0.95	0.6238

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Peso fresco tubérculo..	20	0.34	0.22	103.08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13.36	3	4.45	2.74	0.0779
Grupo	13.36	3	4.45	2.74	0.0779
Error	26.04	16	1.63		
Total	39.39	19			

Continuación...

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	329.65	3	109.88	25.11	<0.0001
Grupo	329.65	3	109.88	25.11	<0.0001
Error	70.03	16	4.38		
Total	399.68	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.78552

Error: 4.3767 gl: 16

Grupo	Medias	n	E.E.	
T0	0.04	5	0.94	A
T1	8.41	5	0.94	B
T2	8.70	5	0.94	B
T3	10.56	5	0.94	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 1. 23: Concentración de prolina foliar

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
4.00	1.00	2.50	2.50	9.00	0.0520

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 3.675

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n	
T1	2.00	1.00	2	A
T3	5.00	2.50	2	A B
T2	5.00	2.50	2	A B
T0	8.00	4.00	2	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$)

Anexo 1. 24: Concentración de clorofila A foliar

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
3.00	3.00	2.50	1.50	0.43	0.7477

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 9.723

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n	
T3	3.00	1.50	2	A
T2	5.00	2.50	2	A
T1	6.00	3.00	2	A
T0	6.00	3.00	2	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$)

Anexo 1. 25: Concentración de clorofila B foliar

Prueba de Friedman

T0	T1	T2	T3	T ²	p
2.00	3.50	2.50	2.00	0.43	0.7477

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 9.723

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
T3	4.00	2.00	2 A
T0	4.00	2.00	2 A
T2	5.00	2.50	2 A
T1	7.00	3.50	2 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$)

Anexo 1. 26: Concentración de clorofila total

Prueba de Friedman

T3	T2	T1	T0	T ²	p
2.00	2.50	3.50	2.00	0.43	0.7477

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 9.723

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
T3	4.00	2.00	2 A
T0	4.00	2.00	2 A
T2	5.00	2.50	2 A
T1	7.00	3.50	2 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$)

Anexo 1. 27: Correlación

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes/probabilidades

	peso seco tallo	peso seco hojas	Peso seco raiz	longitud de raiz	Peso seco tubérculos	Índice de Cosecha	Peso fresco hojas	Peso fresco tallos
peso seco tallo	1.00	0.74	1.3E-03	0.41	0.58	0.23	0.94	0.13
peso seco hojas	0.05	1.00	0.84	0.57	0.27	0.85	0.16	0.45
Peso seco raiz	0.47	0.03	1.00	0.03	0.63	0.42	9.6E-05	5.6E-06
longitud de raiz	-0.13	0.09	0.33	1.00	0.01	1.3E-03	1.4E-05	2.0E-04
Peso seco tubérculos	0.10	0.20	0.09	0.44	1.00	4.6E-11	2.4E-03	0.45
Índice de Cosecha	-0.22	0.04	-0.15	0.55	0.88	1.00	0.02	0.75
Peso fresco hojas	0.01	0.23	0.57	0.62	0.54	0.42	1.00	0.00
Peso fresco tallos	0.25	0.12	0.65	0.55	0.15	-0.06	0.89	1.00
Peso fresco de raíces	-0.16	0.11	0.14	0.34	0.44	0.44	0.57	0.53
Peso fresco de tubérculos	0.21	0.26	0.18	0.28	0.75	0.72	0.63	0.24
N° hojas	0.63	0.18	0.27	0.15	0.36	0.12	0.06	0.24
N° de tallos	0.18	-0.02	0.07	0.05	0.13	-0.03	-0.07	0.02
Altura (cm)	0.04	-0.10	0.12	0.10	0.07	0.12	0.23	0.21
mg de clorof A/ gr de teji..	0.28	-0.12	0.25	-0.25	-0.34	-0.40	0.12	0.40
mg de clorof B/ gr de teji..	0.41	0.01	0.34	-0.29	-0.19	-0.32	0.36	0.56
"mg de prolina/ gr de teji..	-0.51	-0.23	-0.38	-0.04	-0.35	-0.17	-0.77	-0.62

Peso fresco de raíces	Peso fresco de tubérculos	N° hojas	N° de tallos	Altura (cm)	mg de clorof A/ gr de teji..	mg de clorof B/ gr de teji..	"mg de prolina/ gr de teji..
0.32	0.28	5.7E-06	0.25	0.80	0.13	0.02	3.3E-03
0.50	0.19	0.26	0.91	0.52	0.52	0.97	0.21
0.38	0.35	0.07	0.64	0.45	0.17	0.06	0.03
0.03	0.14	0.35	0.77	0.50	0.17	0.12	0.81
0.02	4.7E-06	0.05	0.49	0.70	0.06	0.31	0.05
0.02	1.5E-05	0.52	0.87	0.54	0.02	0.08	0.37
1.1E-04	3.3E-04	0.73	0.65	0.15	0.54	0.05	1.1E-06
4.1E-04	0.22	0.14	0.89	0.19	0.03	2.0E-03	3.9E-04
1.00	1.1E-03	0.45	0.70	0.79	0.17	0.37	0.08
0.58	1.00	0.04	0.38	0.31	0.02	0.26	0.01
-0.12	0.39	1.00	0.09	0.15	0.18	0.03	5.8E-04
-0.06	-0.17	0.27	1.00	0.56	0.27	0.34	0.64
0.04	0.20	0.22	-0.09	1.00	0.05	0.06	0.01
-0.27	-0.44	0.25	0.20	0.36	1.00	1.6E-10	2.4E-03
-0.17	-0.22	0.39	0.18	0.35	0.87	1.00	4.3E-04
-0.34	-0.46	-0.58	-0.09	-0.47	-0.53	-0.59	1.00

Anexo 1. 28: Determinación Cuantitativa de las clorofilas- Método acetónico Estándar

1. Tomar 500 mg de hojas y hervirlas por un minuto en agua destilada, con una pizca de carbonato de calcio. Enfriar rápidamente y escurrir.
2. Moler en mortero de porcelana con poco de arena de cuarzo y luego agregar poco a poco 10 ml de acetona fría.
3. Filtrar con algodón utilizando un embudo. Descartar la parte no filtrada.

4. Tomar una alícuota de 1 ml del filtrado y completar con 4 ml de acetona hasta un volumen final de 5 ml, de tal forma que los pigmentos de 1 gramo de tejido estén disueltos en 100 ml de solución.
5. Leer la absorbancia a las longitudes de onda de: 645 nm, 652 nm y 663 nm
6. Calibrar el espectrofotómetro con acetona al 80 por ciento
7. Los cálculos se realizan con las ecuaciones de McKinney como sigue:
 - $\text{mg de clorof A/ gr de tejido fresco} = (12.7 (D663) - 2.69(D645)) \times V/1000 \times W$
 - $\text{mg de clorof B/ gr de tejido fresco} = (22.9 (D645) - 4.68(D663)) \times V/1000 \times W$
 - $\text{mg de clorof A/ gr de tejido fresco} = D652 \times 1000/34.5 \times V/1000 \times W$

Donde:

- D= Densidad óptica del extracto acetónico
- V= Volumen final del extracto acetónico
- W= Peso fresco en gramos

Anexo 1. 29: Análisis de concentración de prolina

Determinación de la prolina acumulada – Método de Bates et al. modificado

1. Coger 0.5 g de hojas extendidas para macerarlo en un mortero.
2. Moler con un poco de arena de cuarzo y adicionar 10 ml del ácido sulfosalicílico.
3. Filtrar a un tubo de prueba usando papel filtro o algodón.
4. Del filtrado, tomar una alícuota de 2 ml para llevarlo a otro tubo de ensayo, añadir 2 ml de ácido acético glacial y luego 2 ml de la ninhidrina ácida.
5. Incubar a 100°C durante una hora.
6. Enfriar rápidamente en agua helada.
7. Adicionar 4 ml de tolueno y agitar en un vortex durante 15- 20 minutos.
8. Aspirar el tolueno conteniendo el cromóforo desde la fase acuosa y ponerla a temperatura ambiente.
9. Leer la absorbancia a 520 nm, usando tolueno como blanco.

La concentración de prolina se determinará a partir de una curva estándar elaborada previamente y se calcula sobre la base del peso fresco como sigue:

[(ug. prolina/ ml. x ml. tolueno) / 115.5 ug./ umol] / [(g. muestra)/5] = u moles prolina/ g. de material fresco.

La curva estándar de la prolina dio como resultado a siguiente fórmula:

$$Y = 0.0046 + 0.0343 X$$

(Restrepo, Gómez, Garzón, Alzate y López, 2013)

Anexo 3: Datos Climáticos (Observatorio Alexander Von Humboldt UNALM)

Enero 2019

Día	Evapotranspiración potencial (mm)	Tbs (°C)	Tbh (°C)	Radiación solar (ly/día)	Humedad Relativa mínima (%)	Humedad Relativa máxima (%)	PP (mm)
1	2.5	23	21.4	350.2	74	95	0
2	2.9	23.05	20.9	438.2	65	93	0
3	1.5	21.9	19.85	246	68	94	0
4	2.3	24.05	22.1	474.2	65	98	0
5	3.1	24.85	22.1	451.7	67	95	0
6	1	22.25	20.5	428.9	80	98	0
7	2.6	25.45	21.95	406.9	60	92	0
8	3.4	24.25	21.2	396.9	61	94	0
9	2.7	25.35	22.05	481.6	60	96	0
10	1.1	23.35	21.05	312.4	72	95	0
11	1.5	29.8	22.05	353	59	97	0
12	2	24.6	21.6	375.4	65	93	0
13	2.7	23.85	21.2	314.8	68	95	0
14	1.3	22.8	20.35	308.4	68	96	0
15	3.2	24.1	21.4	453.2	67	93	0
16	1.6	22.4	20.4	262.3	71	99	0
17	1.4	22.35	20.35	366.4	71	99	0
18	1.3	22.55	21	304.5	72	96	0
19	2.1	23.4	21.25	487.6	70	99	0.67
20	1.6	22.7	20.8	406.3	73	94	0
21	0.9	23.3	23.6	259.3	67	97	0
22	2.2	25.15	25.15	424.8	62	96	0
23	2.4	24.3	21.7	444.3	64	97	0
24	2.3	25.25	22.25	412.9	70	99	0
25	2.2	25.8	22.3	453.2	60	97	0
26	3.9	26.2	21.8	498.1	61	78	0
27	2.7	25.15	21.95	421.8	63	92	0
28	2.5	26.45	22.9	333.5	56	93	0
29	2.2	26.8	22.65	360.5	56	92	0
30	1.4	26.9	22.25	394.9	53	88	0
31	2.9	25.5	22.3	439.7	61	96	0

Febrero 2019

Día	Evapotranspiración potencial (mm)	Tbs (°C)	Tbh (°C)	Radiación solar (ly/día)	Humedad Relativa mínima (%)	Humedad Relativa máxima (%)	PP (mm)
1	4.2	22.8	22.8	444.7	58	97	0
2	2.3	22.45	22.45	474.1	55	95	0
3	2.8	22.8	22.8	463.7	65	93	0
4	1.5	23	23	230.3	68	90	0
5	2.6	23.25	22.75	417.3	58	98	0
6	1.3	23.3	23.3	278.2	66	99	0.63
7	2.9	26.65	23.55	441.2	63	97	0
8	1	24.5	22.75	255.8	76	97	0
9	3.2	26.5	22.25	403.8	62	89	0
10	4.6	27.25	22.95	463.7	57	91	0
11	1.3	24.7	23.1	332	70	95	0
12	1.9	26.05	23.35	282.7	71	97	0
13	2.3	26.45	23.3	320.1	67	97	0
14	2.5	26.35	23	406.8	65	96	0
15	1.4	26.8	23.2	296.1	60	95	0
16	3.1	26.05	23.05	498.1	62	95	0
17	2.8	25.3	23.05	456.2	66	95	0
18	1.7	26.6	23.15	351.5	61	93	0
19	2.5	25.85	22.75	424.8	59	94	0
20	3	27.75	22.55	387.4	56	91	0
21	3.4	27.25	22.15	430.8	48	86	0
22	3	25.1	22.3	459.2	67	96	0
23	2.4	26.45	22.5	490.6	65	91	0
24	2.9	22.3	22.3	403.8	63	84	0
25	2.4	26.65	22.9	330.5	63	93	0.77
26	4	26.4	22.25	382.9	60	93	0
27	2.3	25.75	22.45	480.1	54	92	0
28	2.8	25.9	21.8	450.2	56	97	0

Marzo 2019

Día	Evapotranspiración potencial (mm)	Tbs (°C)	Tbh (°C)	Radiación solar (ly/día)	Humedad Relativa mínima (%)	Humedad Relativa máxima (%)	PP (mm)
1	2.9	26.2	22.6	475.66	53	97	0
2	3	26.55	22.4	480.17	55	95	0
3	2.7	25.45	21.95	438.29	55	95	0
4	2.5	21.45	21.45	345.54	58	96	0
5	1.4	22.1	22.1	448.74	55	95	0
6	2.5	21.75	21.75	309.6	66	94	0
7	3.3	22.65	22.65	444.3	60.3	97.4	0
8	2.9	23.2	23.2	457.7	59	98	0.2
9	2.6	22.55	22.55	399.3	59	92	0.3
10	2.7	23.05	23.05	393.4	60	84	0
11	3.6	22.6	22.6	489.1	59	93	0
12	3.2	22.5	22.5	460.7	62	96	0.2
13	3.6	22.75	22.75	471.17	58	96	0
14	3.7	22.25	22.25	363.5	58	94	0
15	2.6	21.7	21.7	408.37	68	97	0
16	2.9	22.35	22.35	471.21	64	98	0
17	2.6	22.1	22.1	441.27	64	96	0
18	3.3	21.5	21.5	400.89	59	96	0
19	3	20.9	20.9	462.28	62	95	0
20	3	21	21	454.7	58	96	0
21	3.3	20.85	20.85	433.8	58	95	0
22	3.2	24.15	20.85	462.22	57	93	0
23	3.2	23.6	21.5	454.76	67	91	0
24	3	25.5	21.4	427.9	62	81	0
25	3.4	23.8	20.7	452.48	58	95	0
26	2.8	23.15	20.25	432.47	56	97	0
27	3	23.05	20.3	448.6	58	98	0
28		23.9	21.25	332.1	65	97	0
29	2.1	23.4	20.6	386.5	61	97	0
30	1	23.85		430.8	61	97	0
31	3	23.9		439.8	64	95	0

Abril 2019

Día	Evapotranspiración potencial (mm)	Tbs (°C)	Tbh (°C)	Radiación solar (ly/día)	Humedad Relativa mínima (%)	Humedad Relativa máxima (%)	PP (mm)
1	1.6	23.5	19.2	369.2	69	96	0
2	2	23.25	20.15	338.3	70	96	1.2
3	1.4	23.5	20.8	445.4	62	94	0
4	2.4	24.45	21.05	397.8	62	85	0
5	2.6	23.95	21	405.9	63	95	0
6	2.6	25.45	21.75	369.5	63	92	0
7	3	23.25	21.7	442.7	64	96	0
8	2	24.3	21.7	474.2	61	97	0
9	3	23	19.8	451.4	61	96	0
10	2.8	21.6	18.9	443.9	61	97	0
11	2.6	22	19.15	434.9	61	97	0
12	3.2	22.9	19.7	439.5	59	97	0
13	3	22.05	19.35	461.8	66	97	0
14	2.1	22.4	19.7	425.9	66	97	0
15	3	22.65	19.3	447.1	52	98	0
16	2.6	23.1	20.05	432.2	58	97	0
17	2.5	23.1	20.9	437.9	54	96	0
18	2.5	21.9	19.45	380.8	70	96	0
19	3	22.95	20.1	427.3	59	90	0
20	2.6	23.3	20	443.9	56	95	0
21	1.6	23.3	19.5	445.6	56	95	0
22	2.9	22.7	19.9	412.2	58	97	0
23	4.1	23.05	20.1	449.9	59	95	0
24	1	23.3	20.5	311.8	61	96	0
25	2	23.4	20.7	409.3	63	96	0
26	2.3	23.25	20.3	376.8	65	96	0
27	1.4	21.65	19.6	412.7	76	97	0
28	2.5	21.05	19.2	370.5	74	97	0
29	1.4	22.45	19.5	314.7	63	96	0
30	1.9	22.25	19.7	418.4	64	97	0