

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS EN EL CULTIVO DE  
PAPA (*Solanum tuberosum* L.) BAJO FERTILIZACIÓN  
FOLIAR Y EDÁFICA CON ZINC”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRONOMO**

**JORGE ADRIAN RAMÍREZ APARICIO**

**LIMA - PERÚ**

2019

---

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**“CARACTERISTICAS BIOMETRICAS EN EL CULTIVO DE PAPA  
(*solanum tuberosum* L.) BAJO FERTILIZACION EDÁFICA Y FOLIAR  
CON ZINC”**

**Tesis para optar el Título de:**

**INGENIERO AGRONOMO**

**Presentada por:**

**JORGE ADRIAN RAMÍREZ APARICIO**

**Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:**

Ing. M. S. Andrés Casas Díaz  
**PRESIDENTE**

Ing. Mg. Sc. Ruby Vega Ravello  
**ASESORA**

Mg. Sc. Rolando Egúsqüiza Bayona  
**CO-ASESOR**

Dr. Oscar Loli Figueroa  
**MIEMBRO**

Dr. Sady García Bendezú  
**MIEMBRO**

Perú, 2019

## **DEDICATORIA**

Para Ángela Sofía, quien llegó  
a nuestras vidas para llenarlas  
de amor y cariño.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Jorge y Ana María por todo amor y su apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis hermanas, María Claudia y Andrea, por su ejemplo y amor demostrados día a día.

A mi abuela, Lidia, por su apoyo constante y por su amor infinito.

A Ing. Mg Sc Ruby Vega Ravello, por su apoyo incondicional, cariño y su paciencia a pesar de la distancia.

A Karen Chávez, por todo su amor, apoyo y toda la ayuda durante este tiempo.

A Juan y Meir, amigos de toda la vida, por su apoyo incondicional a lo largo de estos años.

A Tomas Samaniego, amigo suelero, por su amistad, su tiempo y sus enseñanzas.

# INDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
<b>2.1</b>	<b>ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO DE PAPA</b> .....	3
<b>2.1.1</b>	<b>Descripción botánica.</b> .....	3
<b>2.1.2</b>	<b>Variedad ÚNICA</b> .....	6
<b>2.2</b>	<b>FERTILIZACIÓN</b> .....	9
<b>2.2.1</b>	<b>Fertilización edáfica</b> .....	9
<b>2.2.2</b>	<b>Fertilización foliar</b> .....	9
<b>2.3</b>	<b>EL ZINC</b> .....	12
<b>2.3.1</b>	<b>El zinc en suelo</b> .....	12
<b>2.3.2</b>	<b>El zinc en la planta</b> .....	14
<b>2.3.3</b>	<b>Importancia fisiológica del zinc</b> .....	15
<b>III.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	16
<b>3.1</b>	<b>UBICACIÓN</b> .....	16
<b>3.2</b>	<b>CLIMA</b> .....	16
<b>3.3</b>	<b>SUELO</b> .....	17
<b>3.4</b>	<b>TRATAMIENTOS</b> .....	18
<b>3.5</b>	<b>PLANIFICACIÓN DE CAMPO</b> .....	19
<b>3.6</b>	<b>VARIABLES ANALIZADAS</b> .....	20
<b>3.6.1</b>	<b>Índice de cobertura foliar</b> .....	20
<b>3.6.2</b>	<b>Altura de planta</b> .....	20
<b>3.6.3</b>	<b>Número de tallos</b> .....	20
<b>3.6.4</b>	<b>Longitud de entrenudos</b> .....	20
<b>3.6.5</b>	<b>Número de tallos principales</b> .....	20
<b>3.6.6</b>	<b>Materia seca</b> .....	20
<b>3.6.7</b>	<b>Concentración de zinc en la planta</b> .....	20
<b>3.6.8</b>	<b>Rendimiento</b> .....	21
<b>3.7</b>	<b>MÉTODOS ESTADÍSTICOS</b> .....	21
<b>3.7.1</b>	<b>Modelamiento</b> .....	21
<b>3.7.2</b>	<b>Análisis estadístico</b> .....	22
<b>3.8</b>	<b>PROCEDIMIENTO EN CAMPO</b> .....	22
<b>3.8.1</b>	<b>Marcado de terreno</b> .....	22
<b>3.8.2</b>	<b>Distribución de los tratamientos en campo</b> .....	23

3.8.3	Siembra .....	24
3.8.4	Fertilización .....	24
3.8.5	Manejo agronómico.....	24
3.8.6	Evaluaciones biométricas .....	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1	ALTURA .....	25
4.2	COBERTURA .....	26
4.3	DISTANCIA DE ENTRENUDOS .....	29
4.4	NÚMERO DE TALLOS POR METRO LINEAL .....	30
4.5	NÚMERO DE TALLOS PRINCIPALES.....	31
4.6	PESO SECO.....	32
4.7	CONCENTRACIÓN DE ZINC EN LAS HOJAS.....	33
4.8	RENDIMIENTO .....	34
V.	CONCLUSIONES.....	37
VI.	RECOMENDACIONES.....	38
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	39
VIII.	ANEXOS .....	46

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Temperatura, radiación solar, humedad relativa durante la conducción del experimento. La Molina. 2017	17
Tabla 2: Características fisicoquímicas del suelo en estudio	18
Tabla 3: Tratamientos propuestos	19
Tabla 4: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en la altura de planta (cm) a los 55, 68, 84 y 98 días después de la siembra.	25
Tabla 5: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en la cobertura vegetal (%) a los 55, 68, 84 y 98 días después de la siembra	27
Tabla 6: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en la distancia de entrenudos (cm) a 55, 68, 84, 98 días después de la siembra	29
Tabla 7: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en los tallos por metro lineal a 55, 68, 84, 98 días después de la siembra	30
Tabla 8: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en el número de tallos principales a los 112 días después de la siembra	32
Tabla 9: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en el peso seco (g planta <sup>-1</sup> ) del follaje y tubérculo	33
Tabla 10: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en la concentración de Zn en hojas	34
Tabla 11: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en el rendimiento promedio obtenido en cada una de las parcelas	35

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Morfología de la hoja de papa. Fuente: Inostroza, 2009	4
Figura 2. Morfología de la flor. Fuente: Inostroza, 2009	5
Figura 3: Morfología de la planta de papa. Fuente: Inostroza, 2009	6
Figura 4: Diseño genético de la obtención de la variedad única. Fuente: Gutiérrez, 2007	7
Figura 5: Comparación del comportamiento agronómico de la variedad UNICA con Canchan y Tomasa a lo largo del año. Fuente: Gutiérrez, 2007	8
Figura 6: Adsorción de Zn en suelos calcáreos. Fuente: Havlin et al. (1999)	14
Figura 7: Ubicación del ensayo experimental	16
Figura 8: Croquis del experimento	23
Figura 9: Variación promedio de la altura bajo la fertilización edáfica y foliar con zinc	26
Figura 10: Variación promedio de la cobertura foliar bajo la dosis de fertilización edáfica con zinc (kg ha-1)	28
Figura 11: Variación del promedio de la aplicación foliar	28
Figura 12: Variación promedio del número de tallos por metro lineal bajo fertilización edáfica (kg ha-1)	31
Figura 13: Variación del número de tallos principales bajo fertilización edáfica (kg ha-1)	34
Figura 14: Rendimiento promedio sin y con fertilización foliar	36

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de altura	46
Anexo 2: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 2 de altura	47
Anexo 3: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 3 de altura	48
Anexo 4: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 4 de altura	49
Anexo 5: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de cobertura	50
Anexo 6: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 2 de cobertura	51
Anexo 7: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 3 de cobertura	52
Anexo 8: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 4 de cobertura	53
Anexo 9: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de la distancia de entrenudos	54
Anexo 10: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 2 de la distancia de entrenudos	55
Anexo 11: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 3 de la distancia de entrenudos	56
Anexo 12: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 4 de la distancia de entrenudos	57
Anexo 13: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de los tallos por metro lineal	58
Anexo 14: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 2 de los tallos por metro lineal	59
Anexo 15: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 3 de los tallos por metro lineal	69
Anexo 16: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 4 de los tallos por metro lineal	61
Anexo 17: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de los tallos principales	62
Anexo 18: Análisis de Varianza (ANVA) para peso seco de la muestra de follaje	63
Anexo 19: Análisis de Varianza (ANVA) para peso seco de la muestra de tubérculo	64

Anexo 20: Análisis de Varianza (ANVA) para peso seco total de la muestra	65
Anexo 21: Análisis de varianza (ANVA) para la variable concentración de Zn foliar	66
Anexo 22: Análisis de Varianza (ANVA) para rendimiento	67

## **“CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) BAJO FERTILIZACIÓN FOLIAR Y EDÁFICA CON ZINC”**

### **RESUMEN**

El zinc es uno de los elementos esenciales que requiere la planta, el cual está presente en la biosíntesis del Ácido Indol acético importante en la expansión foliar y crecimiento de las zonas meristemáticas. Una de las maneras de proveer de este nutriente a las plantas y así optimizar la capacidad productiva de los cultivos es la fertilización, la cual puede darse vía edáfica o foliar. Por lo tanto, se sabe que el zinc está relacionado con el vigor de la planta, esto ayudaría a los productores a identificar la presencia de zinc en el cultivo sin la necesidad de realizar un análisis químico y solo evaluando sus características biométricas. En la campaña del año 2017, en el campo “Libres I” de la UNALM se instaló el experimento buscando conocer la respuesta de las características biométricas en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) mediante fertilización edáfica y foliar con zinc, dicho experimento se tuvo un suelo moderadamente alcalino de pH (1:1) = 7.82, con un porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  de 3 %, P disponible de  $16.2 \text{ mg kg}^{-1}$  y de Zn extractable en  $14.55 \text{ mg kg}^{-1}$ , las parcelas tuvieron una distribución en bloque completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos tuvieron un arreglo factorial, combinando las tres dosis de fertilización edáfica (0, 20 y  $40 \text{ kg Zn ha}^{-1}$ ), con las dos dosis de fertilización foliar (0 y  $5 \text{ kg Zn ha}^{-1}$ ), la fertilización edáfica se realizó antes de la siembra mientras que, las aplicaciones foliares se realizaron cada semana desde que el cultivo alcanzo una altura homogénea a los 60 días después de la siembra. Las variables en estudio fueron altura de planta (cm), cobertura vegetal (%), distancia de entrenudos (cm), número de tallos por metro lineal, tallos principales, peso seco, concentración de zinc en hojas y rendimiento. Los resultados muestran que la fertilización edáfica y foliar no tuvo efecto en las características biométricas, ni en el rendimiento, en cambio en la concentración de zinc en hojas se incrementó cuando hubo fertilización foliar.

**Palabras clave:** características biométricas, fertilización edáfica y foliar, papa, zinc

## **BIOMETRIC CHARACTERISTICS IN THE POTATO CROPS (*Solanum tuberosum* L.) UNDER FOLIAR AND EDÁFICA FERTILIZATION WITH ZINC**

### **ABSTRACT**

Zinc is one of the essential elements required by plants. This is present in the biosynthesis of indoleacetic acid, which is important in foliar expansion and the growth of meristematic areas. One of the methods to provide plants with this nutrient and, therefore, optimize crop productive capacity, is fertilization, which can be foliar or edaphic. It is known that zinc is related to plant vigor, this will help producers identify the presence of this element in the crops just by evaluating their biometric characteristics. There is no need to perform a chemical analysis. During the 2017 growing season, the experiment was carried out in the "Libres I" field, in UNALM, with the purpose of knowing what the results of the biometric characteristics in the potato crop (*Solanum tuberosum* L.) through edaphic and foliar fertilization with zinc were. In the experiment, the soil was moderately alkaline with pH (1:1) = 7.82, 3 % of CaCO<sub>3</sub>, 16.2 mg/kg<sup>-1</sup> of P and 14.55 mg/kg<sup>-1</sup> of extractable zinc. The plots had a random distribution of fertilizer per sections with four repetitions. The treatments had a factorial arrangement, combining three doses of edaphic fertilizer (0, 20 and 40 kg Zn ha<sup>-1</sup>) with two doses of foliar fertilizer (0 and 5 kg Zn ha<sup>-1</sup>). The edaphic fertilization was conducted before the sowing while the foliar applications were made once a week since the crops reached the same height after 60 days from the sowing. The variables considered for this study were the height of the plant (cm), the vegetation cover (%), the distance between the internodes (cm), the number of stems per linear meter, the main stems, dry weight, efficiency and zinc concentration in leaves. The results demonstrate that both edaphic and foliar fertilizations do not affect the biometric characteristics nor the efficiency. On the contrary, the zinc concentration in leaves increased when there was foliar fertilization.

**Keywords: biometric characteristics, edaphic and foliar fertilization, potato, zinc.**

## I. INTRODUCCIÓN

La producción mundial anual aproximada de papa es de 320 millones de toneladas, siendo el cuarto cultivo más importante después del trigo, maíz y arroz (Borba, 2008). La producción global de papa ha crecido de manera constante estando actualmente en 373.83 millones de toneladas métricas en el 2016, a comparación de los 267 millones de toneladas métricas en 1990. Durante la última década la extensión global de área cosechada se mantuvo constante, mostrando un aumento en su productividad. El comercio internacional de papa se ha duplicado en volumen y ha aumentado casi cuatro veces su valor desde mediados de los años ochenta (Risi, 2018)

En el Perú, en el 2014, la superficie sembrada de papa fue de 317 132 hectáreas, con una producción total de 4 570 673 toneladas, lo que lo posiciona como el tercer cultivo más importante a nivel nacional, solo superado por el café y el arroz. Asimismo, durante el periodo 2003-2014 el consumo en fresco de papa fue de 64.4 kilogramos por habitante (INEI, 2014). Por otra parte, las exportaciones de papa no son significativas, ya que en el 2016 solo se exportaron alrededor de 55 toneladas de papas frescas (Agrodataperu, 2016), por lo que la papa es considerada como en un cultivo netamente de importancia nacional.

El zinc es considerado importante dentro de la nutrición, es por ello que el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia señala una prevalencia de deficiencia de zinc del 30 % en niños menores de cinco años a nivel mundial (UNICEF, 2012); por ende, la ausencia de este micronutriente ocasiona retraso del crecimiento, incremento en la predisposición a enfermedades infecciosas como: diarrea y neumonía, principalmente en los dos primeros años de vida (Grandy et al., 2008). Por otro lado, el zinc también es importante para el desarrollo de las plantas, debido a que su concentración está relacionada con la biosíntesis del AIA, el cual es importante para la expansión foliar y crecimiento de brotes en las zonas meristemáticas (Gil, 1995).

Las prácticas agrícolas, como la fertilización, permiten corregir, enriquecer y mejorar el potencial nutricional de los cultivos. La fertilización edáfica y foliar es una realidad en la nutrición de los cultivos y aplicadas convenientemente, optimizan la capacidad productiva

de las cosechas tanto de gramíneas, leguminosas, hortalizas, plántulas de vivero, frutales y especies forestales (Trinidad, 1999).

Ante este contexto, la investigación tuvo como finalidad determinar la relación entre las características biométricas y el contenido de zinc aportado a través de la fertilización edáfica y foliar, y su relación con el rendimiento, buscando obtener mayor biomasa en las plantas que reciban dichas fertilizaciones.

Cabe resaltar que este estudio es parte una investigación más amplia, desarrollada durante las campañas 2018 y 2019 por el Ing, Agr. Pedro Pablo Gutiérrez Vílchez y el equipo de estudiantes de la Facultad de Agronomía, quienes buscamos conocer el efecto de la biofortificación de zinc en el cultivo de papa mediante la fertilización foliar y edáfica en los suelos de la costa peruana.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO DE PAPA**

#### **2.1.1 Descripción botánica.**

##### **a. El brote**

El brote es un tallo que se origina en las yemas del ojo o axila del tubérculo, cuando el tubérculo presenta más de un brote se considera que es la mejor edad para la siembra, los brotes gruesos se relacionan directamente con el vigor del mismo traduciéndose al final en un mayor rendimiento; el número de brotes de cada tubérculo depende de su tamaño, de la variedad y de las condiciones en las que se ha almacenado (Egúsquiza, 2000; Egúsquiza, 2014).

##### **b. El tallo**

Los tallos en el cultivo de papa pueden variar según su procedencia, siendo las que provienen de semilla vegetativa las que producen varios tallos y lo que provienen de semilla botánica producen un tallo principal (Palencia, 1989). Las funciones de estos, son principalmente el sostener a hojas y flores las cuales tienen como funciones principales la fotosíntesis y reproducción sexual, respectivamente (Egusquiza, 2014)

##### **c. La raíz**

La raíz es la estructura subterránea la cual está encargada de la absorción de agua y nutrientes. Se origina en los nudos de los tallos subterráneos y en conjunto forman un sistema fibroso (Egusquiza, 2014).

##### **d. La hoja**

Las hojas del cultivo de papa normalmente son compuestas e imparipinnadas, con raquis central, lo cuales pueden tener folíolos primarios, secundarios y hasta terciarios, generalmente cada folíolo está unido al raquis por medio del peciolulo y en algunas hojas los folíolos no presentan peciolulo. Las hojas pueden llegar a tener de tres a siete

pares de folíolos primarios (Figura 1), cuyo tamaño aumenta conforme se van alejando de la axila (Huamán, 1984; Sánchez, 2003).



Figura 1: Morfología de la hoja de papa. Fuente: Inostroza, 2009

#### e. La flor

La flor es la estructura que cumple la función de la reproducción sexual, la flor de papa es completa, perfecta, hermafrodita y pentámera, presenta una inflorescencia de tipo cima las cuales son sostenidas por el pedúnculo floral. El pedicelo resulta de la ramificación del pedúnculo floral el cual se conecta con la base del cáliz de la flor (Figura 2) (Sánchez, 2003).

Para Egusquiza (2000), menciona que las características de la flor de papa poseen importancia agrícola por el hecho que ayudan la diferenciación y reconocimiento de variedades, estas características son constantes, sin embargo, la floración, la fertilidad del polen y el ovulo sin pueden ser modificados por el ambiente.

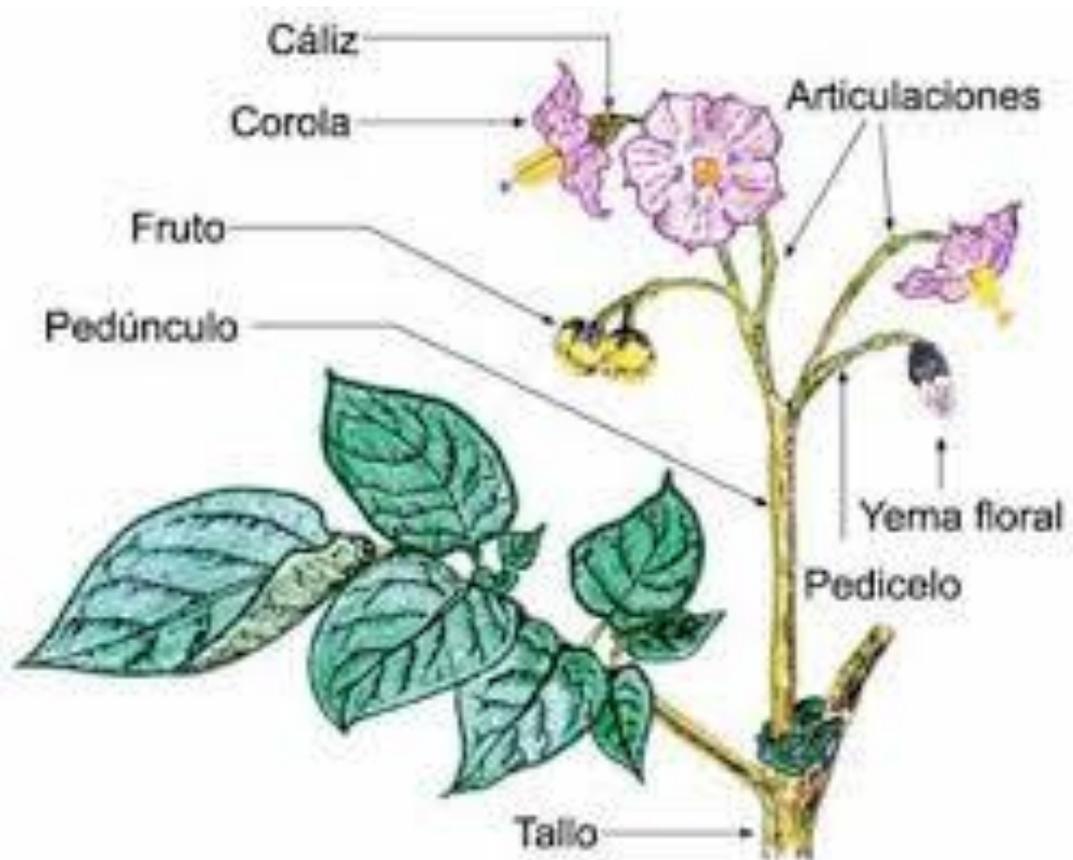


Figura 2: Morfología de la flor. Fuente: Inostroza, 2009

**f. El fruto y semilla**

Egúsquiza (2000), sostiene que el fruto de papa es tipo baya el cual se forma por el desarrollo del ovario, las semillas que la papa puede producir son de dos tipos, semilla botánica (semilla sexual) y el tubérculo semilla (tallos subterráneos). La semilla sexual es el óvulo fecundado y maduro, su número puede variar dependiendo de la variedad.

**g. El estolón**

El estolón es un tallo subterráneo que se origina en la yema del tubérculo, el cual es un tallo especializado encargado del transporte de sustancias (azúcares) producidas en las hojas y que se almacenan en el tubérculo en forma de almidones. El número y longitud de los estolones depende de la variedad, del número de tallos subterráneos y de todas las condiciones que afectan el crecimiento de la planta (INIA, 1994).

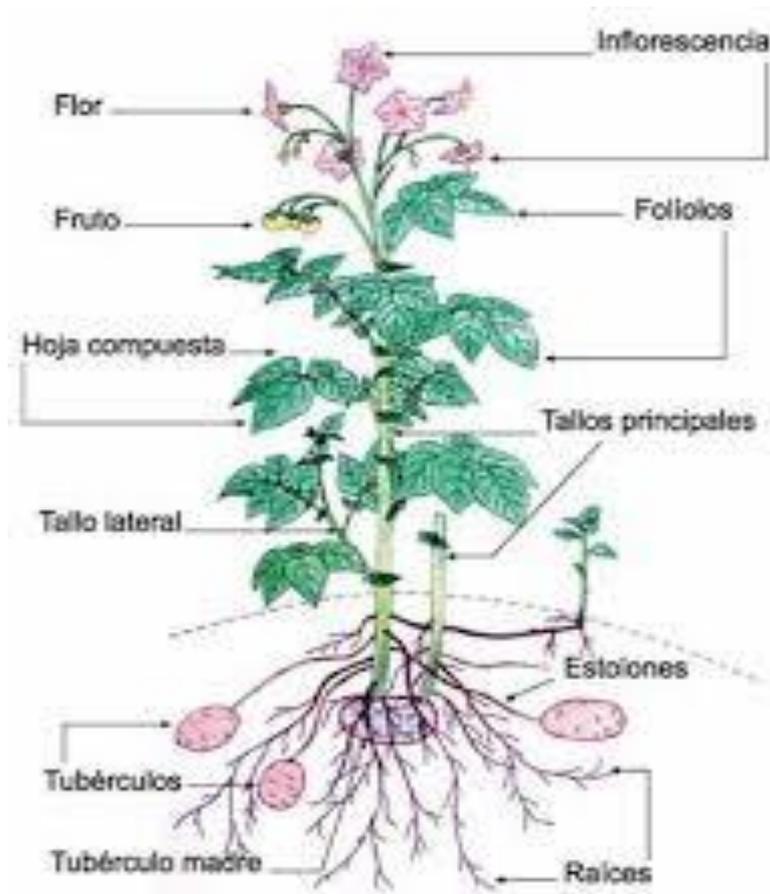


Figura 3: Morfología de la planta de papa. Fuente: Inostroza, 2009

### **h. El tubérculo**

El tubérculo es un tallo subterráneo especializado en el almacenamiento de sustancias de reserva de valor nutricional. Las formas más comunes son redondas, ovales y oblongas, por otro lado, también existen variedades con forma redonda comprimida, elíptica, larga, aplanadas, clavadas, reniformes, fusiformes, falcadas, enroscadas, digitadas, concertinoides y otras (Egúsqüiza, 2014).

### **2.1.2 Variedad ÚNICA**

Gutiérrez et al (2007), menciona que la variedad UNICA fue seleccionada y evaluada por el Centro Internacional de la Papa (CIP) en más de 20 localidades a lo largo de la costa y sierra peruano durante más de 7 años, posee características de precocidad y resistencia a ciertos factores abióticos, lo cual la hacen muy bien apreciada por los productores nacionales del cultivo de papa. Esta gran adaptación de la variedad UNICA

a diferentes ambientes permite una amplia distribución geográfica, en regiones de la costa y sierra del Perú.

#### a. Origen

La UNICA dio como resultado a las investigaciones en conjunto entre la Asociación de Productores e instituciones nacionales en el sector agrícola como el CIP y la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Se realizaron estudios por casi 3 años y en diferentes épocas y localidades, estos estudios incluyeron las progenies seleccionadas en el diseño genético (Línea x Probador). La genealogía de la UNICA se muestra en la figura 4.

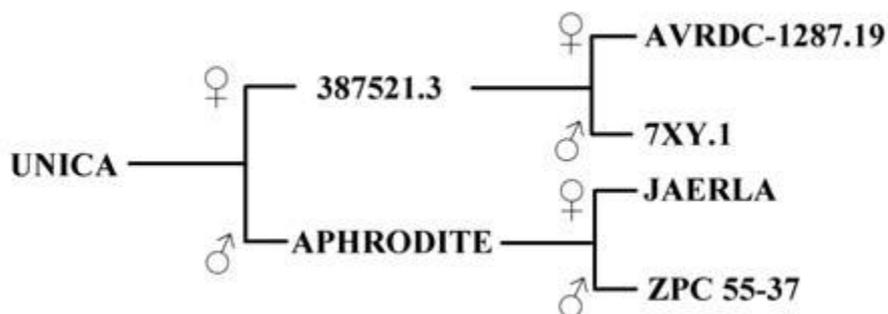


Figura 4: Diseño genético de la obtención de la variedad única. Fuente: Gutiérrez, 2007

#### b. Descripción varietal

El Centro Internacional de la Papa en 1997 y 1998 describe a esta variedad como una herbácea con hábito de crecimiento erecto, con tallos gruesos de color verde oscuro, alcanzando una longitud entre 0.90 a 1.20 metros. Las hojas son compuestas y se distribuyen en espiral sobre el tallo. La forma de la hoja es disectada, con cinco pares de folíolos laterales y un par de interhojuelas sobre los peciólulos. La floración depende de la estación y del lugar, siendo moderada entrada la temporada de primavera en costa, escasa floración en el invierno en costa y ausencia de floración en condiciones de sierra (mayor a 2 000 msnm); las flores son violetas y no forman bayas en épocas con bajas temperaturas. Los estolones son alargados en el invierno o bajo condiciones de sierra; ligeramente cortos y pegados al tallo en la primavera.

Los tubérculos son oblongos y alargados, con ojos superficiales y en la parte del ojo apical es semi-profundo. Se forman ligeras protuberancias en los ojos hacia finales de la primavera, volviéndose más liso en el invierno o bajo condiciones de Sierra. Estas protuberancias se presentan también cuando los niveles de nitrógeno son elevados,

cuando hay períodos de estrés hídrico prolongados o cuando se retrasa el período de cosecha. La piel del tubérculo es de color rosado, la cual cambia según la localidad en la que se siembre.

### c. Comportamiento agronómico

La semilla alcanza unos 50 días aproximadamente de dormancia, y esta tiene ligera dominancia apical. El periodo vegetativo varía según la localidad en donde se siembre, siendo generalmente corto, con 70 a 90 días después de la siembra (dds) en condiciones de sierra (2 000 a 3 800 msnm) donde se utiliza más para fines de multiplicación de semilla. Por otro lado, en la costa o en valles interandinos (0 a 1 500 msnm) presenta características de semi precocidad (90 a 110 dds). La variedad UNICA presenta una gran estabilidad a diferentes épocas de siembra y en diferentes localidades de la costa, tal como lo muestra la figura 5, donde mantiene el rendimiento a diferencia de otras variedades como Canchán y Tomasa,

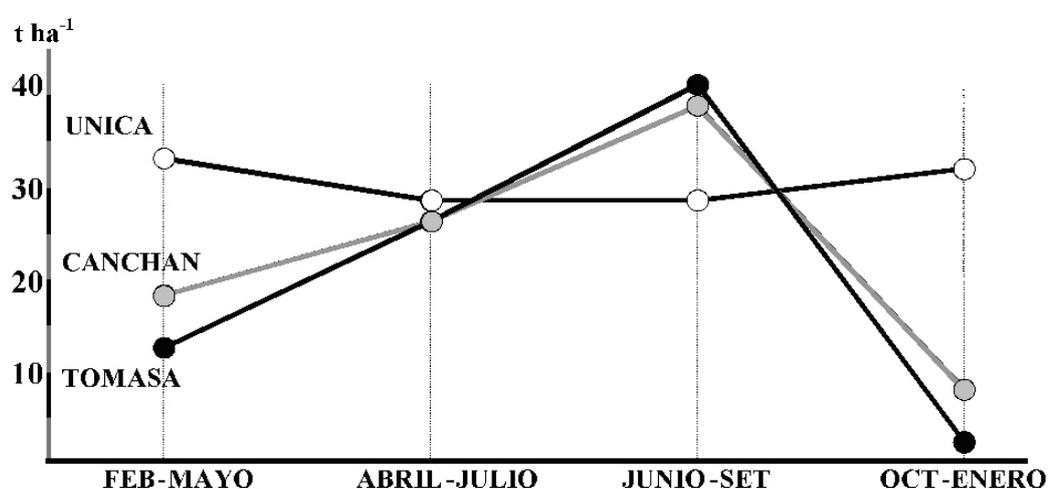


Figura 5: Comparación del comportamiento agronómico de la variedad UNICA con Canchan y Tomasa a lo largo del año en diferentes localidades a lo largo de la costa peruana. Fuente: Gutiérrez, 2007

Tiene un gran potencial en rendimiento, llegando a 50 t ha<sup>-1</sup> en el invierno en zonas de la costa y en épocas húmedas de la zona sierra. Durante la primavera y la época seca el rendimiento disminuye. Comercialmente se pueden lograr rendimientos promedios de hasta 40 t ha<sup>-1</sup>.

Tolera ligeramente las sales y temperaturas cálidas, pudiendo tuberizar con temperaturas nocturnas de hasta 16 °C (Vásquez, 2003); esto es una ventaja ante el alza de la temperatura, puesto que la producción de papa en la costa peruana se ve afectada en épocas de verano, inhibiéndose la tuberización en las variedades tradicionales. La amplia adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas de la costa, favorece la programación de las siembras y cosechas en una mayor amplitud de épocas (CIP, 1997; CIP, 1998; Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, 1998).

## **2.2 FERTILIZACIÓN**

### **2.2.1 Fertilización edáfica**

La fertilización edáfica consiste en la aplicación directamente incorporadas al suelo, en él sufren diversas transformaciones, como el cambio de su solubilidad, de su capacidad de movimiento en el suelo y la asimilación para las plantas (Arcos, 2011).

La absorción de nutrientes del suelo a través de la raíz es uno de los procesos primarios que muestran la capacidad productiva de las plantas y depende de tres factores:

- El aporte del nutriente por el suelo hacia la raíz.
- Relacionada con la concentración de iones presentes en la solución suelo, de la capacidad buffer del suelo y del movimiento del nutriente hacia la raíz, dado por difusión, concentración o flujo de masas.
- La capacidad de absorción de la raíz.
- Depende del volumen de exploración y ramificación de la raíz, así como de la cantidad de proteínas transportadoras de que dispongan las células radicales.
- La capacidad buffer de la rizósfera.
- Depende de la capacidad de extrusión de protones, de la exudación de ionóforos, metabolitos y proteínas que hacen solubles los nutrientes y, en gran medida, de la asociación de la raíz con bacterias y hongos de la rizósfera (Benavides, 2011).

### **2.2.2 Fertilización foliar**

La fertilización foliar es una técnica de fertilización instantánea que provee a los cultivos de nutrientes mediante la aplicación de soluciones dadas directamente a las hojas (Arcos, 2011). Una de las principales razones para llevar a cabo este tipo de fertilización es con el fin de complementar la fertilización realizada al suelo o corregir deficiencias específicas en el mismo período de desarrollo del cultivo (Domínguez, 1997).

Valverde et al. (2002), mencionan que fisiológicamente todos los nutrientes pueden ser absorbidos vía foliar, con mayor o menor velocidad, en diferentes oportunidades. De tal modo, que teóricamente la nutrición completa de la planta podría ser satisfecha vía foliar. Esto en la práctica no es posible, por el alto costo del número de aplicaciones que sería necesario realizar para satisfacer el total de requerimientos. Para el cultivo de papa se recomienda para corregir temporalmente deficiencias de azufre, zinc, manganeso y boro, esto promueve la recuperación de la planta afectada por condiciones bióticas y abióticas adversas.

#### **a. Factores relacionados con la formulación foliar**

Según Santos (2000), las características de la solución son muy importantes a la hora de realizar la fertilización foliar, y los factores relacionados a la misma son los siguientes:

- El pH de la solución y el ion acompañante del nutriente por aplicar influyen en la absorción de éste en la hoja.
- La adición de surfactantes y adherentes a la solución favorece el aprovechamiento del fertilizante foliar. El surfactante busca reducir la tensión superficial de las moléculas de agua, permitiendo que en la hoja exista una mayor superficie de contacto. Un adherente permite una mejor distribución del nutriente en la superficie de la hoja, el adherente reparte homogéneamente la solución evitando que exista concentraciones elevadas cuando la gota se evapore.
- La concentración de la solución de un nutriente en la solución foliar varía de acuerdo con la especie de la planta, siendo algunas especies más tolerantes que otras con respecto a la concentración de sales.
- Las sustancias activadoras actualmente están siendo estudiadas sobre su uso para la absorción de nutrientes por medio de la fertilización foliar.

- La temperatura influye en la absorción de nutrientes vía aspersión foliar.
- La luz, la humedad relativa y la hora de aplicación son factores que influyen en la absorción de nutrientes. La luz es importante dentro de la fotosíntesis. La humedad relativa influye en la velocidad de evaporación del agua que se aplica, una alta humedad relativa del medio favorece la penetración de los nutrientes. La hora de aplicación debe de practicarse o muy temprano o en las tardes, según las condiciones de la región.
- La aplicación foliar también está afectada por el estado de desarrollo de la planta. La edad de la planta y su capacidad de absorción de nutrientes vía foliar varía según el cultivo, y el momento de la aplicación.

#### **b. Ventajas de la fertilización foliar**

Según Fregoni (1986), las ventajas de practicar fertilización foliar son:

- Corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas.
- Favorece el desarrollo de los cultivos y mejora la calidad del rendimiento.
- Es una práctica que sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo que no se puede abastecer mediante la fertilización común al suelo.

#### **c. Categorías de la fertilización foliar**

Según Segura (2002), la fertilización foliar puede cumplir con los siguientes propósitos.

- Como fertilización correctiva, que es aquella en la que se busca proveer de nutrientes para superar las deficiencias que se manifiestan en el cultivo, generalmente varía según la fenología de las plantas.
- Como fertilización preventiva, la cual se realiza cuando se conoce que un determinado nutriente es deficiente en el suelo, y se busca prever alguna deficiencia futura.
- Como fertilización sustitutiva, que busca suplir los requerimientos del cultivo solo por vía foliar, siendo esta práctica poco factible debido a la imposibilidad de aplicar

dosis altas de macronutrientes.

- Como fertilización complementaria, que consiste en la aplicación de una parte al suelo y la otra vía foliar, básicamente se usa en el caso de micronutrientes y es uno de los métodos más utilizados en los cultivos.
- Como fertilización complementaria en estado reproductivo, que puede realizarse en aquellos cultivos anuales en los cuales, durante la floración y llenado de las semillas, experimentan una reducción de su actividad radicular, lo cual limita la absorción de nutrientes por esta vía.
- Como fertilización con estimulantes, que consiste en la aplicación de productos con diferentes nutrientes, en las cuales los elementos son incluidos en bajas dosis, pero en proporciones fisiológicamente equilibradas, estas tienen como fin inducir un efecto estimulatorio sobre la absorción radicular.

La absorción foliar dependerá de la interacción entre el nutriente y la planta, de modo que siempre que una solución de sales minerales se encuentre en contacto con la epidermis de raíces, tallos, flores y frutos, se dará un ingreso del líquido, siendo la planta la que realiza una selección, dejando pasar las sustancias que reclama el vegetal, pero cierra la entrada a las innecesarias, tóxicas y perjudiciales (Devlin, 1999). La entrada de los nutrientes se da a través de las hojas y esto se produce de día y de noche a través de ambas caras, teniendo gran importancia la apertura y cierre de estomas. También puede penetrar a través de los tallos, flores, frutos y corteza de ramas y troncos (Bidwell, 1979).

## **2.3 EL ZINC**

### **2.3.1 El zinc en suelo**

Navarro (2003), refiere que el contenido de zinc en el suelo proviene de diferentes minerales, principalmente de silicatos (willemita ( $\text{SiO}_4\text{Zn}_2$ ) y hemimorfita ( $\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2\text{Zn}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ )), sulfuros (esfalerita y blend), óxidos (zincita) y carbonatos (smitsonita).

Desde su utilización en la planta, el zinc se encuentra en el suelo en tres formas, como zinc soluble, es decir, el presente en la solución del suelo y totalmente disponible para su absorción; como zinc intercambiable que está adsorbido por los coloides y como zinc

fijado. El zinc fijado es importante en el suelo debido a que presenta valores importantes, siendo capaz de sustituir a otros elementos, como el aluminio, hierro y magnesio dentro de la estructura de las arcillas. Este zinc fijado está dentro de una red cristalina, lo cual lo vuelve totalmente inasequible para la planta, por ello, el aprovechamiento del zinc en el suelo está restringido a la fracción soluble y a la fracción intercambiable.

Las mayores causas de deficiencia de zinc son suelos de bajo contenido de zinc (material parental), pH extremo, suelos de bajo contenido de materia orgánica e inactividad microbiológica, elevado nivel de fósforo disponible, etc. (Hafeez et al., 2013).

De acuerdo con Havlin et al. (1999), en suelos neutros y calcáreos se da una deficiencia de Zn inducida por el pH, el pH afecta de igual manera la solubilidad del zinc, ya que es altamente dependiente y decreciendo 100 veces con cada incremento en una unidad de pH. A un elevado pH, el Zn precipita en formas insolubles como  $ZnFe_2O_4$  y/o  $ZnSiO_4$ . La adsorción de  $Zn^{2+}$  por minerales arcillosos, óxidos de Al/Fe, materia orgánica y  $CaCO_3$  se incrementa con el incremento del pH; por otro lado, puede haber inhibición en la absorción de  $Zn^{2+}$  por otros cationes metálicos como  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  y  $Mn^{2+}$ , posiblemente en la competencia en el ingreso a la planta. Se conoce también, el antagonismo entre el zinc y el fosforo, el cual se da cuando el P se encuentra en alta disponibilidad, induciendo a la deficiencia de Zn, siendo más notoria esta deficiencia en suelos de bajo contenido de Zn y de altas aplicaciones de P.

El  $CaCO_3$  es parcialmente responsable de la adsorción de Zn, lo que reduce su disponibilidad en un suelo calcáreo, debido a que su disponibilidad disminuye con el incremento del contenido de  $CaCO_3$ , debido a la reacción que se da entre ambos produciendo  $ZnOH^+$ , siendo uno de los principales compuestos formados como se observa en la Figura 6.

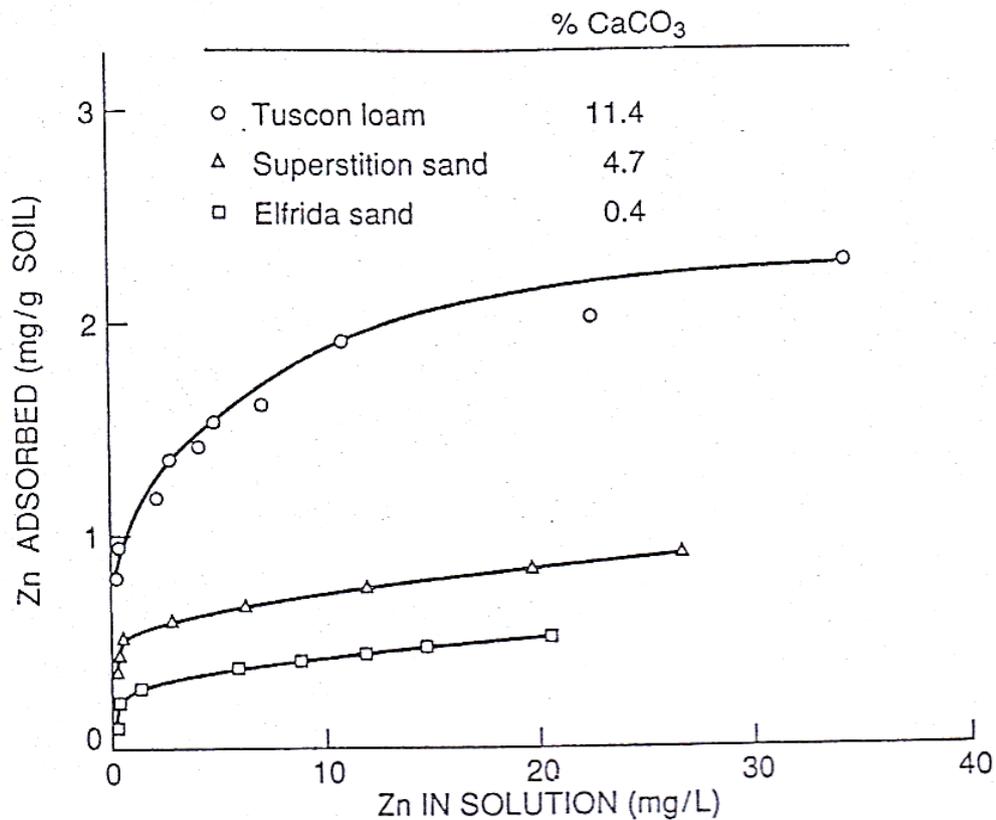


Figura 6: Adsorción de Zn en suelos calcáreos. Fuente: Havlin et al. (1999)

### 2.3.2 El zinc en la planta

El zinc en la planta atraviesa la raíz hasta el xilema a través del continuo citoplasmático de células de la raíz unidas por el plasmodesmo (simplasto) o a través de los espacios extracelulares entre las células (apoplasto) (White et al., 2002). En la planta, el zinc es un elemento menor que activa la enzima triptófano sintetasa, encargada de la síntesis del triptófano para la biosíntesis del ácido indolacético (AIA), expansión foliar y crecimiento de brotes en zonas meristemáticas. En deficiencia de zinc, la síntesis de auxina queda reducida al no sintetizarse el triptófano (Gil, 1995).

Las maneras en las que el zinc puede aplicarse, tanto al suelo como vía foliar, son en forma de quelatos y en sales. Los quelatos en comparación con las sales, como el sulfato de zinc, pueden ser absorbidos y trasladados rápidamente para promover el aumento de auxinas en yemas apicales de ramas y estimular la elongación y división celular; es por ello que Molina (2002) afirma que el zinc quelatado es una ventaja en la nutrición porque facilita la entrada del elemento a través de la cutícula foliar cargada negativamente. Por

otro lado, Marschner (2002) asegura que, aunque la disponibilidad de Zn en el suelo sea adecuada, su movilidad en la planta es media, por lo tanto el suministro a zonas de síntesis de auxinas como yemas apicales de ramas puede ser afectado, debido a que se acumula preferentemente en tejidos radicales.

### **2.3.3 Importancia fisiológica del zinc**

El zinc es un microelemento esencial que sirve como cofactor enzimático y cumple diversas funciones. Es esencial para la actividad, regulación y estabilización de la estructura protéica o una combinación de estas (Mengel, K., Kirkby, E., 2001; Broadley et al., 2012). Existen tres enzimas vegetales donde se ha realizado la determinación del zinc enlazado, que son: deshidrogenasa alcohólica, anhidrasa carbónica y la dismutasa de superóxidos (Figueiredo et al., 2012). Es por esta razón que la deficiencia de zinc en plantas tiene efecto drástico sobre la actividad enzimática, desarrollo de los cloroplastos, contenido de proteínas y ácidos nucleídos, lo cual conlleva a un estado de estrés fisiológico (Sadeghzadeh, 2013).

Hernández (2002) la concentración de zinc en las plantas, bajo su peso seco varían entre 3 a 150 ppm, por un lado, los niveles de deficiencia en hojas están por debajo de los 20 a 25 ppm en base al peso seco y los niveles de toxicidad pueden llegar a los 400 ppm, siendo los niveles apropiados los que se encuentran en el rango de 25 a 150 ppm.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 UBICACIÓN

El presente ensayo se realizó en el campo “Libres I” de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima, a  $12^{\circ}04'55''$  S de latitud,  $76^{\circ}56'53''$  O de longitud y 241 m.s.n.m.



Figura 7: Ubicación del ensayo experimental Fuente: Google earth

#### 3.2 CLIMA

El trabajo experimental se ejecutó entre los meses de junio a octubre del año 2017. De acuerdo a la información registrada por el Observatorio Meteorológico Alexander Von Humboldt de la UNALM (Tabla 1), las temperaturas mínimas oscilaron de  $13.7$  a  $15.7$  °C y las máximas, entre  $20.2$  y  $21.2$  °C. La temperatura media registra sus promedios mensuales más bajos en el mes de agosto ( $16.5$  °C) y los más altos en el mes de junio ( $18.3$  °C). Por otro lado, la radiación solar fue más intensa en el mes de julio ( $233.3$  cal/cm<sup>2</sup>/día) y la máxima humedad relativa alcanzó 90 % en el mes de agosto.

**Tabla 1: Temperatura, radiación solar, humedad relativa durante la conducción del experimento. La Molina. 2017**

Mes	Temperatura (°C)			Radiación solar (cal/cm <sup>2</sup> /día)	Humedad Relativa (%)
	Media	Máx.	Min.		
Junio	18.3	21.2	15.7	187.2	88
Julio	17.6	21.0	15.0	233.3	86
Agosto	16.5	20.2	13.7	225.4	90
Setiembre	16.7	20.2	13.7	229.0	89

Fuente: Observatorio Meteorológico Alexander Von Humboldt

### 3.3 SUELO

La muestra de suelo fue tomada en los 20 cm superficiales del campo experimental, para la medición de pH y conductividad eléctrica se realizó en extracto de suelo, agua en relación de 1:1, y el equipo que se utilizó fue el multiparámetro Consort C1020. Para determinar la clase textural y los porcentajes de arena, limo y arcilla se empleó el método de Bouyucos. Para poder determinar la materia orgánica y el porcentaje de CaCO<sub>3</sub> se empleó el método de Walkley y Black, y el método gaso-volumétrico empleando HCl 0.2 N, respectivamente. El extractante de acetato de amonio se utilizó para determinar el K disponible mientras que el P disponible fue hallado usando el método de Olsen modificado. Para la determinación de la CIC se empleó la saturación con acetato de amonio 1N a pH 7 y los cationes cambiabiles se determinaron con el extracto anterior empleando espectrofotometría de absorción atómica. El zinc extractable fue determinado en solución de Hunter. Los resultados obtenidos fueron los mostrados en la tabla 2.

**Tabla 2: Características fisicoquímicas del suelo en estudio**

<b>Características</b>	<b>Valor</b>	<b>Interpretación</b>
Arena (%)	53	
Limo (%)	25	Fr. Ar. A
Arcilla (%)	22	
pH (1:1)	7.82	Moderadamente alcalino
CE (1:1) (dS m <sup>-1</sup> )	0.71	No salino
MO (%)	1.29	Bajo
CaCO <sub>3</sub> (%)	3.00	Moderado
P disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	16.20	Alto
K disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	129.00	Bajo
CIC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	13.92	Baja
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	11.32	
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1.78	
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.61	
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.21	
Zn extractable (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	14.55	Alto

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF)- UNALM

### **3.4 TRATAMIENTOS**

Se evaluó seis tratamientos, que estuvieron distribuidos en dos variables, niveles de zinc aplicados al suelo y con y sin aplicación foliar. Las dosis de zinc aplicadas al suelo fueron 0, 20 y 40 kg de Zn ha<sup>-1</sup> y cada uno de estos niveles se combinó con y sin aplicaciones foliares en razón de 5 kg Zn ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 3: Tratamientos propuestos**

<b>Tratamientos</b>	<b>Dosis de fertilización edáfica (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Dosis de fertilización foliar (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
E <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	0	0
E <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	20	0
E <sub>3</sub> F <sub>1</sub>	40	0
E <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	0	5
E <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	20	5
E <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	40	5

### 3.5 PLANIFICACIÓN DE CAMPO

- La superficie de la parcela experimental fue de 30 m<sup>2</sup> (6 x 5 m), mientras que la parcela neta de evaluación fue de 16.2 m<sup>2</sup> (5.4 x 3 m), eliminando las plantas de los dos surcos laterales y una planta de los extremos de los surcos centrales.
- Características del ensayo
  - Números de tratamientos: 6
  - Repeticiones: 4
  - Número de parcelas por repetición / ensayo: 24
  - Área total Neta del ensayo: 720 m<sup>2</sup> = 24 parcelas x 30 m<sup>2</sup>
  - Área total del ensayo: 810 m<sup>2</sup> = 27.0 m x 30 m
- Características de la unidad experimental para cada localidad
  - Área de la parcela: 6 m x 5 m = 30 m<sup>2</sup>
  - Área de la parcela neta: 5.4 m x 3 m = 16.2 m<sup>2</sup>
  - Distancia entre plantas: 0.3 m
  - Plantas/surco: 20
  - Plantas/parcela: 100
  - Plantas/parcela neta: 54
  - Siembra: 100 tubérculos/parcela

### **3.6 VARIABLES ANALIZADAS**

Las variables evaluadas en la investigación fueron características biométricas del cultivo de papa y el contenido de zinc foliar.

#### **3.6.1 Índice de cobertura foliar**

Se midió mediante un cuadrante de 1.0 m x 0.5 m, el cual se dividió en 50 cuadrados de 100 cm<sup>2</sup>. Se evaluó cinco puntos dentro del área neta de la unidad experimental. Si la planta ocupa más del 50 % de un cuadrado se contabiliza, en caso contrario no se considera.

$$\% \text{ cobertura} = (\text{N}^\circ \text{ cuadrados} \times 100) / 50$$

#### **3.6.2 Altura de planta**

Se midió 10 plantas del área neta de la unidad experimental, desde el cuello de la planta hasta su altura máxima sin tener que estirar las hojas apicales.

#### **3.6.3 Número de tallos**

Se evaluó un metro lineal en cinco puntos del área neta de la unidad experimental y se contabilizó el número de tallos por metro lineal.

#### **3.6.4 Longitud de entrenudos**

Se eligieron cinco plantas en el área neta de la unidad experimental, donde se midió la longitud de entrenudos del tercio medio del tallo más vigoroso de la planta.

#### **3.6.5 Número de tallos principales**

Se contabilizó el número de tallos principales de cinco plantas en el área de la unidad experimental antes del corte del follaje.

#### **3.6.6 Materia seca**

Se mezcló homogéneamente los follajes y tubérculos picados de las plantas extraídas en el área neta de la unidad experimental y se tomó una muestra representativa, la cual se pesó para secarla a estufa a 70 °C por 24 horas. La muestra seca fue pesada cuando alcanzó un peso constante.

#### **3.6.7 Concentración de zinc en la planta**

Dos semanas después de la última aplicación foliar, se tomó una muestra foliar significativa, entre 8 a 9 hojas del tercio medio de las plantas de cada unidad experimental. Después, se limpiaron cuidadosamente y secaron a estufa a 70 °C durante 48 horas. Luego se molieron y guardaron de manera hermética para su posterior análisis químico.

En el análisis químico para cuantificar la concentración de zinc en el follaje, se usó 2.5 g de

materia seca de las hojas. Las muestras fueron digestadas a 200 °C en 12 ml solución de HNO<sub>3</sub> (65 % p/p) y HClO<sub>4</sub> (70 % p/p), en relación 5:1. Luego de la digestión, se agregó agua destilada para dar volumen a la muestra y se filtró en papel Whatman N° 1; como volumen final se obtuvo un extracto de 25 ml. En los extractos se determinó la concentración de zinc mediante espectrofotometría de absorción atómica.

### 3.6.8 Rendimiento

Se contabilizó la cantidad de kilogramos obtenidos en los diferentes tratamientos. Con el fin de corregir el rendimiento por parcela a su número constante de plantas, para ello se utiliza la fórmula de Jenkins:

$$P_{cf} = \frac{(H - 0.3 M)}{(H - M)}$$

Dónde:

P<sub>cf</sub> : peso corregido por fallas

H: número de golpes por parcela

M: número de fallas.

Al peso corregido por fallas se le multiplica el peso obtenido por parcela, para luego llevarlo a t/ha.

## 3.7 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

### 3.7.1 Modelamiento

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo factorial de 3 x 2, dando un total de seis tratamientos, que se dispusieron en cuatro repeticiones para un total de 24 unidades experimentales para todos los ensayos (fertilización foliar y edáfica). Los factores son: a) Dosis de fertilización con Zn al suelo y b) con y sin fertilización con Zn al follaje.

El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha*\beta)_{ij} + \epsilon_k + e_{ijk}$$

Donde:

**Y<sub>ijk</sub>**= Rendimiento en la k-ésima parcela de la i-ésima dosis edáfica de zinc recibiendo la j-ésima dosis foliar de zinc

**μ** = Efecto de la media general

**α<sub>i</sub>**= Efecto de la i-ésima dosis edáfica de zinc

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo dosis foliar de zinc

$(\alpha*\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción de la i-ésima dosis edáfica de zinc con la j-esima dosis foliar de zinc

$\epsilon_k$  = Efecto del k-ésimo bloque

$e_{ijk}$  = Variable aleatoria del error experimental.

### **3.7.2 Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos en las evaluaciones de las variables estudiadas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA). Para la comparación de medias se trabajó con la prueba de Tukey al 0.05. El procesamiento de los datos fue realizado con el ambiente para cómputo estadístico R, versión 3.5.1., empleando los paquetes *Agricolae* y *ggplot 2* (R Core Team 2016).

## **3.8 PROCEDIMIENTO EN CAMPO**

### **3.8.1 Marcado de terreno**

Se procedió a marcar el campo para la separación de los tratamientos utilizando cal para delimitar el área experimental correspondiente.

### 3.8.2 Distribución de los tratamientos en campo

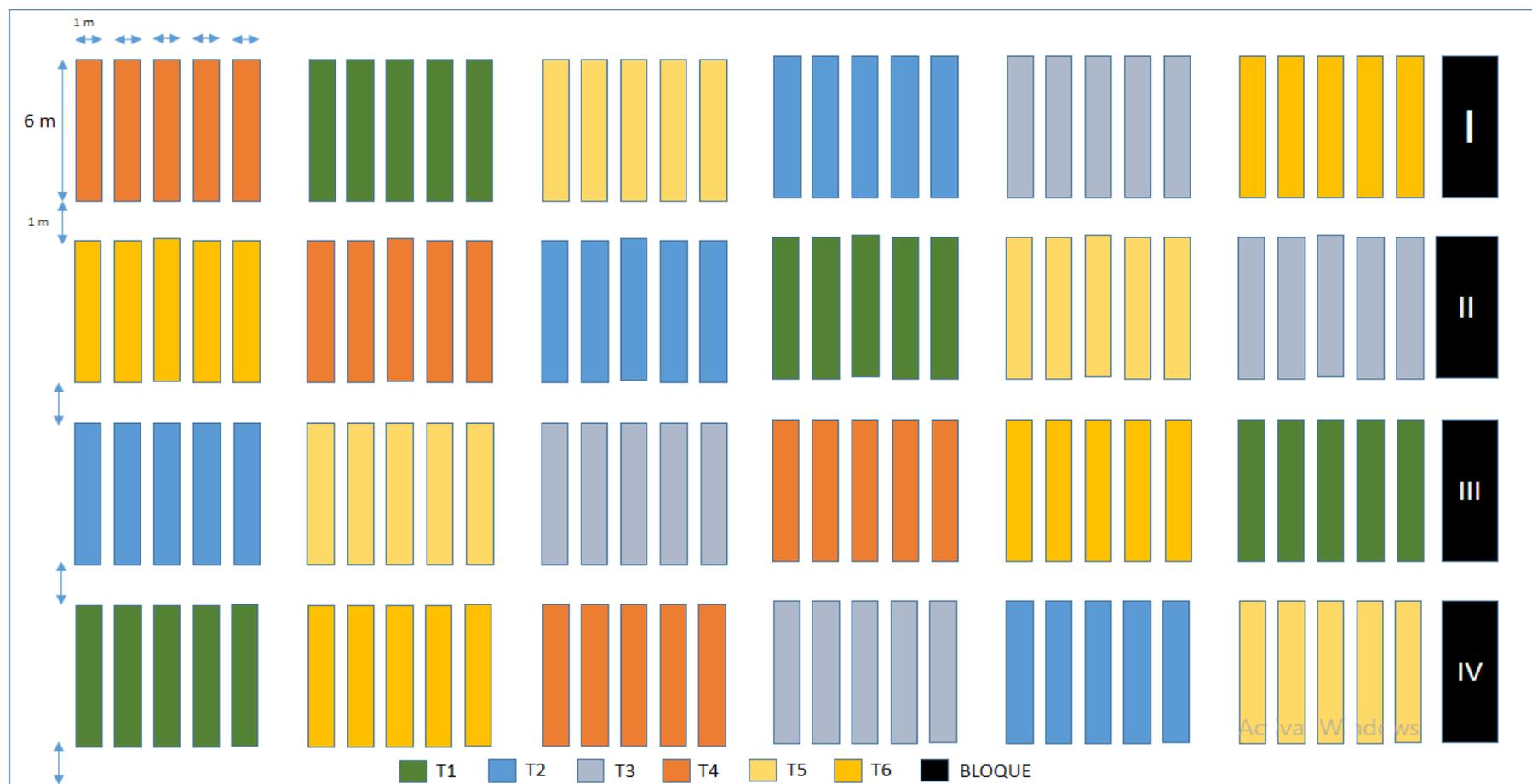


Figura 8: Croquis del experimento

### **3.8.3 Siembra**

Se procedió a sembrar según el distanciamiento establecido de 0.3 m entre plantas colocando un tubérculo – semilla en cada golpe.

### **3.8.4 Fertilización**

Al momento de la siembra se aplicó una fertilización completa con fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. El nitrógeno fue fraccionado, 50 % en la siembra y el resto de la dosis en el momento del aporque. Todos los tratamientos recibieron el mismo aporte, tanto para ensayo foliar y edáfico, con excepción del zinc que se aplicó en función de los tratamientos establecidos. Las fuentes de fertilizantes usadas fueron urea, fosfato diamónico, cloruro de potasio y como fuente de zinc se utilizó sulfato de zinc.

Con respecto a los tratamientos, se realizó una aplicación edáfica con sulfato de zinc heptahidratado al momento de la siembra, con las siguientes dosis, para el T2 de 58 g surco<sup>-1</sup>, T3 de 115 g surco<sup>-1</sup>, T5 de 58 g surco<sup>-1</sup> y para T6 de 115 g surco<sup>-1</sup>; mientras que para los tratamientos foliares se realizó cuatro aplicaciones con zinc, a partir de los 45 días después de la siembra con las siguientes dosis, para el T4 de 0.5 g surco<sup>-1</sup>, T5 de 0.5 g surco<sup>-1</sup> y para T6 de 0.5 g surco<sup>-1</sup>.

### **3.8.5 Manejo agronómico**

Las labores culturales fueron iguales a las manejadas por el fundo. Las aplicaciones de pesticidas fueron realizadas previa evaluación.

### **3.8.6 Evaluaciones biométricas**

Para las evaluaciones se tomaron los surcos centrales para obtener datos reales de las diferentes unidades experimentales. Las evaluaciones se realizaron cada 15 días a partir de la primera aplicación foliar, por cada uno de los tratamientos de cada uno de los bloques asignados.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ALTURA

Los resultados indican que a los 55 días después de la siembra no hay diferencias significativas entre los tratamientos propuestos y por ello no se aprecia el efecto de la aplicación edáfica ni foliar con zinc, lo que puede atribuirse a que el cultivo recién había recibido la primera fertilización foliar que representa la cuarta parte de la dosis total. Para segunda evaluación, que se realizó a los 68 dds, se observa diferencias estadísticas en relación a la interacción entre la dosis de fertilización edáfica y la foliar, siendo el T2 el que menor promedio de altura obtuvo. La tercera evaluación, a los 84 dds, no muestra diferencias entre los tratamientos. Para la cuarta evaluación, a los 98 dds, estadísticamente la aplicación foliar refleja diferencias, siendo los tratamientos sin ella, los que mejores resultados obtuvieron y resaltando entre los mismo el T2 (Tabla 4).

**Tabla 4: Efecto de la fertilización edáfica y foliar en la altura de planta (cm) a los 55, 68, 84 y 98 días después de la siembra.**

Tratamientos		Días después de la siembra (dds)			
Aplicación foliar con zinc	Dosis de zinc edáfico (kg ha <sup>-1</sup> )	55	68	84	98
Sin	0	37.3	55.7	53.9	38.6
	20	34.8	47.3	49.9	46.8
	40	36.8	52.0	53.1	43.1
Con	0	33.6	51.4	52.8	39.2
	20	36.4	52.5	53.6	42.6
	40	34.2	50.5	50.9	42.9
CV %		10.88	7.94	4.89	10.33
Aplicación foliar		NS	NS	NS	*
Dosis de zinc		NS	NS	NS	NS
Aplicación x Dosis		NS	*	NS	NS

Los valores obtenidos nos estarían indicando que la fertilización edáfica y foliar con zinc no afectan el crecimiento del cultivo de papa a lo largo de su fenología, lo cual es afirmado por Vélez (2013) y Gavilanes (2015) en sus investigaciones, quienes refieren que la fertilización edáfica con zinc queda absorbida en las raíces y la fertilización edáfica y foliar con zinc muestra diferencias en altura de planta.

Cabe resaltar que el T2, durante el tiempo del ensayo experimental, mantuvo promedios constantes en su altura, como se muestra en la Figura 9. La semejanza de los valores encontrados en la altura de planta se puede atribuir a la fertilización química de fondo que recibieron todos los tratamientos como indica Campos (2017) en su estudio. Asimismo, Sierra et al (2002) encontraron efecto directo entre el nitrógeno sobre la elongación y crecimiento vegetativo, debido a que este elemento estructural estimula el crecimiento, especialmente en hojas y tallos; además, Oyarzun et al. (2002) mencionan que la planta presenta mayores tasas de crecimiento cuando hay mayor disponibilidad de nitratos.

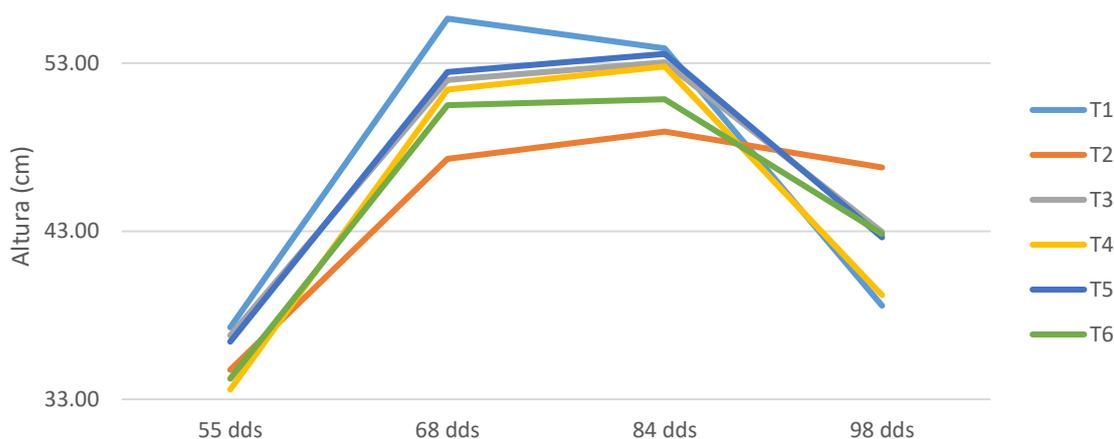


Figura 9: Variación promedio de la altura bajo la fertilización edáfica y foliar con zinc

Por otro lado, Gutiérrez y Espinoza (2007) indicaron que las plantas de la variedad UNICA alcanzan un porte máximo de 120 cm; sin embargo, en el presente experimento alcanzaron, un porte promedio de 55 cm, es decir, aproximadamente la mitad de su altura máxima.

## 4.2 COBERTURA

Los valores encontrados indican que en la primera evaluación (55 dds), no se muestran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos; sin embargo, el T2 fue quien muestra el menor promedio con 50.90 % de cobertura del área foliar. En la segunda

evaluación que se realizó a los 68 dds, se obtuvo diferencias significativas entre los resultados a nivel de dosis de fertilización y el T4 fue quien obtuvo el mayor porcentaje de cobertura entre todos los tratamientos con 88.10 %. En la tercera evaluación que tuvo lugar a los 84 dds, no existen diferencias significativas entre los tratamientos; no obstante, el mejor promedio lo tiene el T4 con 93.35 % de cobertura. En la cuarta evaluación, a los 98 dds, existen diferencias estadísticas a nivel aplicación foliar, presentando mayor promedio los tratamientos que recibieron la fertilización foliar, siendo el T4 el de mejor promedio entre los tratamientos con 62.10 %. En esta última evaluación, los porcentajes de cobertura se reducen, lo que refleja la senescencia de la planta (Tabla 5).

**Tabla 5: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en la cobertura vegetal (%) a los 55, 68, 84 y 98 días después de la siembra**

Tratamientos		Días después de la siembra (dds)			
Aplicación foliar con zinc	Dosis de zinc kg ha <sup>-1</sup>	55	68	84	98
Sin	0	53.3	87.5	93.0	53.0
	20	50.9	84.2	91.0	54.8
	40	53.3	82.8	89.9	61.8
Con	0	53.1	88.1	93.4	62.1
	20	53.3	76.2	87.6	60.1
	40	53.3	87.0	92.1	60.3
CV %		10.74	8.72	4.98	8.92
Aplicación foliar		NS	NS	NS	*
Dosis de zinc		NS	*	NS	NS
Aplicación x Dosis		NS	NS	NS	NS

Al parecer la fertilización edáfica con zinc no influye en la cobertura vegetal, si bien existen diferencias significativas en la segunda evaluación estas no reflejan que los tratamientos hayan tenido algún efecto sobre el cultivo (Figura 10). En su investigación, Núñez (2016) menciona que no encuentra diferencias significativas en la cobertura vegetal con fertilización potásica en el cultivo de papa variedad ÚNICA.

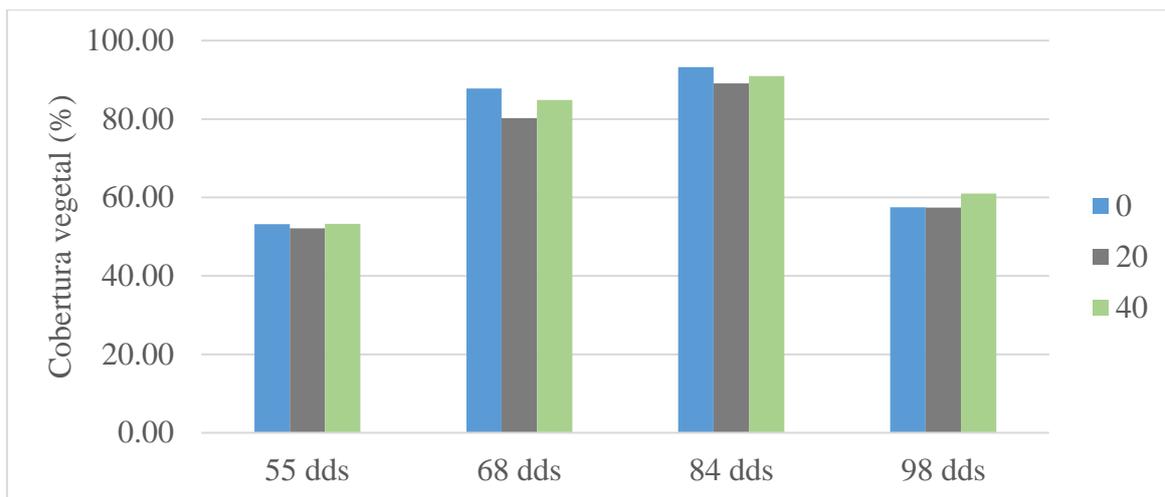


Figura 10: Variación promedio de la cobertura foliar bajo la dosis de fertilización edáfica con zinc (kg ha<sup>-1</sup>)

La aplicación foliar muestra diferencias significativas en la parte final de la fenología del cultivo de papa (Figura 11); sin embargo, a lo largo del ensayo experimental los resultados no expresan diferencias entre los tratamientos. En la última evaluación se revela unos mejores resultados de aquellas plantas que fueron fertilizadas vía foliar, en comparación a las que solo estaban bajo la fertilización edáfica.

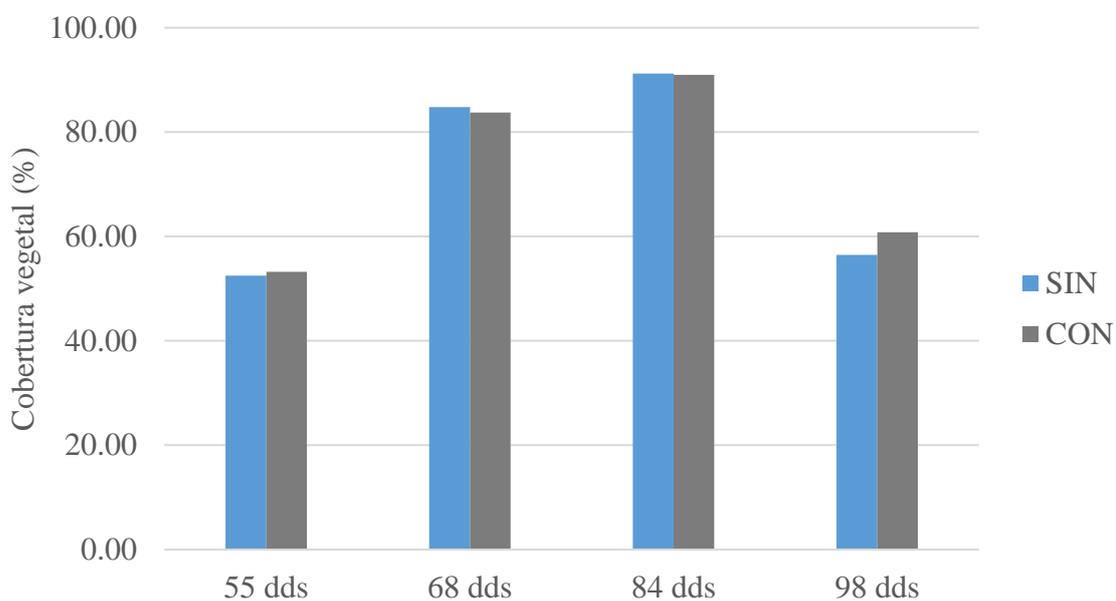


Figura 11: Variación del promedio de la aplicación foliar

### 4.3 DISTANCIA DE ENTRENUDOS

En la tabla 6 se muestra los resultados de la distancia de entrenudos, en la cual a lo largo de las evaluaciones no mostraron diferencias estadísticas; sin embargo, en la primera evaluación el tratamiento que obtuvo mejor promedio fue el T5 con 9.70 cm de longitud; en la segunda evaluación, el T3 fue quien resalta por encima del resto; en la tercera, el T1 el que obtuvo el mejor resultado entre todos y en la última evaluación, el T3 mantiene mejor promedio y tiene una menor reducción.

**Tabla 6: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en la distancia de entrenudos (cm) a 55, 68, 84, 98 días después de la siembra**

Tratamientos		Días después de la siembra			
Aplicación foliar con zinc	Dosis de zinc kg ha <sup>-1</sup>	55	68	84	98
Sin	0	9.55	12.98	13.45	9.75
	20	8.45	12.50	12.80	9.00
	40	9.15	13.20	13.40	10.20
Con	0	9.40	12.80	12.10	9.60
	20	9.70	12.30	12.50	9.20
	40	8.80	11.80	12.93	8.95
CV %		9.20	7.82	6.64	8.43
Aplicación foliar		NS	NS	NS	NS
Dosis de zinc		NS	NS	NS	NS
Aplicación x Dosis		NS	NS	NS	NS

Estos resultados van de la mano de lo referido por Moreno en 1996, en el que menciona que la elongación de entrenudos en el cultivo de papa se ve favorecida con la presencia de temperaturas altas y para este experimento se obtuvieron temperaturas entre 21 y 22 °C. Mientras tanto, Gil (2012) no encuentra efecto en la distancia de entrenudos bajo la fertilización edáfica con sulfato de zinc en maracuyá y lo atribuye lavado de la sal en el suelo arenoso donde instaló su experimento.

#### 4.4 NÚMERO DE TALLOS POR METRO LINEAL

En la tabla 7 se muestra los resultados del número de tallos por metro lineal, en la cual a lo largo de las evaluaciones no mostraron diferencias estadísticas; no obstante, en la primera evaluación el tratamiento que obtuvo mejor promedio fue el T4 con 11.9 tallos por metro lineal. En la segunda evaluación el T3 fue quien resalta por encima del resto con 11.9 tallos. Finalmente, en la tercera y cuarta evaluación el que tuvo mejor promedio fue el T4. A los 84 dds hay diferencias significativas a nivel de dosis de zinc entre T1 y T4. El tratamiento que obtuvo mejor promedio a lo largo de la etapa fenológica del cultivo fue el T4, mostrando el mismo promedio lo largo de las evaluaciones.

**Tabla 7: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en los tallos por metro lineal a 55, 68, 84, 98 días después de la siembra**

Tratamientos		Días después de la siembra			
Aplicación foliar con zinc	Dosis de zinc kg ha <sup>-1</sup>	55	68	84	98
Sin	0	11.2	10.6	11.3	9.9
	20	11.2	10.2	11.0	11.1
	40	10.4	11.9	10.7	10.7
Con	0	11.9	11.8	12.8	11.6
	20	10.0	10.3	11.1	11.3
	40	10.8	10.0	10.5	10.6
CV %		9.82	13.33	10.3	10.1
Aplicación foliar		NS	NS	NS	NS
Dosis de zinc		NS	NS	*	NS
Aplicación x Dosis		NS	NS	NS	NS

El número de tallos por planta está en función al número de yemas del tubérculo, para ello se desea que la semilla posea ciertas características como un buen tamaño, peso y otros factores, con lo cual se obtendrá un mayor número de tallos por planta y por consiguiente un mejor rendimiento (Tirado, 2014). Por otro lado, se afirma que la edad fisiológica tiene relación directa con el un numero de tallos en el cultivo de papa (Nuñez, 2016); asimismo con el tamaño y densidad de siembra, a mayor densidad de tallos los tubérculos producidos serán más pequeños que a bajas densidades de tallos (Shayanowako et al., 2015).

Si la semilla es demasiada pequeña, tendrá un número bajo de tallos, lo que se traduce en un menor rendimiento por la poca producción de tubérculos (Şanlı et al., 2015). Por otra parte, si la semilla posee un tamaño mayor, la producción de tallos será mayor, lo que significa

mayor cantidad de tubérculos por planta compitiendo por todos los recursos del suelo, dando como consecuencia tubérculos de menor tamaño (Dagne, 2015).

Es resaltante que durante los primeros 84 dds los mejores resultados se dan en los tratamientos con menor dosis de fertilización, pero para el final de la fenología, los tratamientos con fertilización edáfica o los que poseen aplicación foliar con zinc tienen mejor respuesta a la senescencia del cultivo (Figura 12).

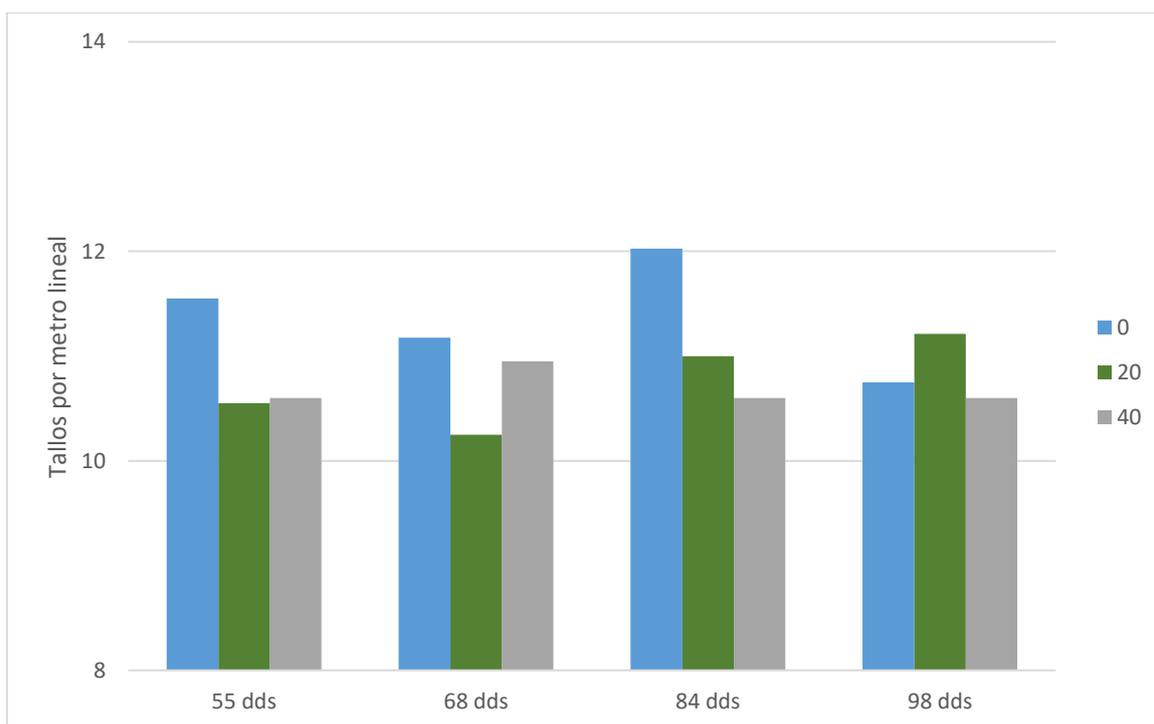


Figura 12: Variación promedio del número de tallos por metro lineal bajo fertilización edáfica (kg ha<sup>-1</sup>)

#### 4.5 NÚMERO DE TALLOS PRINCIPALES

La evaluación del número de tallos principales se llevó a cabo 112 días después de la siembra y antes del curado, en ellos se observa diferencias estadísticas altamente significativas con respecto a las dosis de fertilización edáfica (Tabla 8). De acuerdo a estos resultados se puede concluir que la dosis edáfica más alta de zinc alcanzó los mayores promedios sin que la aplicación foliar tenga algún efecto para esta variable (Figura 13).

**Tabla 8: Número de tallos principales a los 112 días después de la siembra**

Tratamientos		Días después de la siembra
Aplicación foliar con zinc	Dosis de zinc kg ha <sup>-1</sup>	112
Sin	0	1.5 b
	20	1.3 b
	40	1.8 a
Con	0	1.4 b
	20	1.4 b
	40	1.8 a
CV %		16.92
Aplicación foliar		NS
Dosis de zinc		***
Aplicación x Dosis		NS

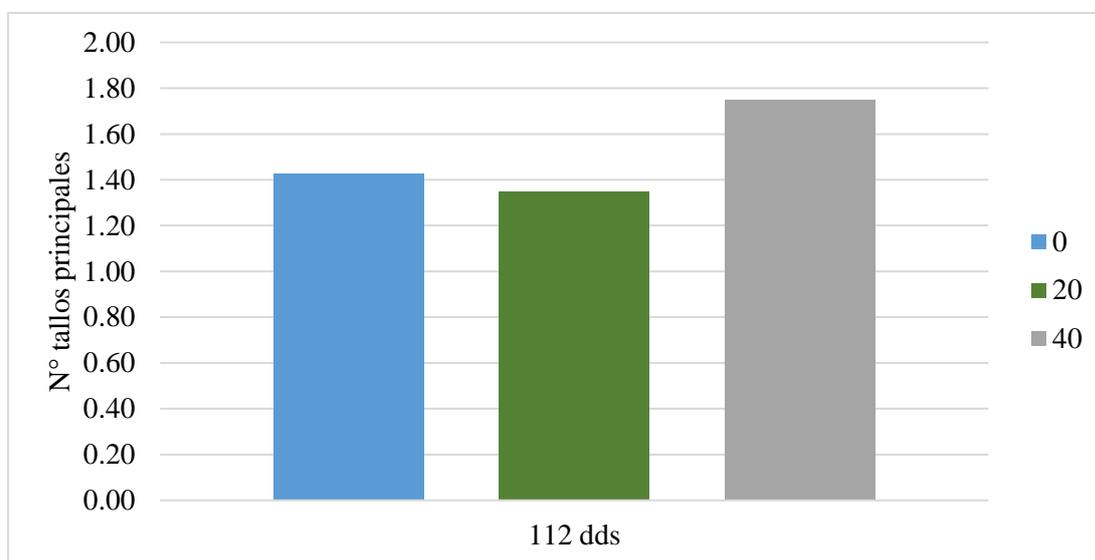


Figura 13: Variación del número de tallos principales bajo fertilización edáfica (kg ha<sup>-1</sup>)

Booth y Shaw (1989) afirman que el número de brotes por tubérculo determina el número de tallos principales por planta y depende de la variedad, el tamaño del tubérculo y el grado de dominancia apical. Cuando el tubérculo de papa se almacena a una temperatura que reduce el reposo, las yemas jóvenes del ápice empiezan a crecer, mientras que se suspenden el crecimiento de las otras yemas. Un tubérculo semilla con dominancia apical tendrá pocos tallos principales. Si en el almacenamiento de las semillas se elimina la dominancia apical, se desarrollará un mayor número de tallos.

#### 4.6 PESO SECO

En la tabla 9 se observa los resultados del peso seco del follaje y tubérculos extraídos a los 110 dds en las parcelas experimentales. La materia seca del follaje y del tubérculo no refleja

diferencias significativas entre los tratamientos, no muestran influencia de los factores en estudio y de su interacción. En cuanto al follaje, el tratamiento que obtuvo el mayor valor fue el T5 con 42.9 g planta<sup>-1</sup>, y para el tubérculo fue el T3 con 281.7 g planta<sup>-1</sup>, con esto podemos decir que el mayor peso seco se logró por la mayor asimilación de nutrientes que se relaciona con la biomasa obtenida.

En los tratamientos que no se aplicó zinc al follaje, se observa cierta tendencia en el incremento de la materia seca del tubérculo al incrementar el zinc en el suelo; asimismo, se puede apreciar un comportamiento semejante en los tratamientos con aplicación foliar de zinc y dosis edáfica de 0 y 20 kg ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, el tratamiento que recibe zinc foliar y dosis al suelo de 40 kg ha<sup>-1</sup>, reduce bruscamente su biomasa seca en el tubérculo y en el follaje, lo que puede ser atribuido a un efecto tóxico de zinc (White et al., 2012).

**Tabla 9: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en el peso seco (g planta<sup>-1</sup>) del follaje y tubérculo**

Tratamientos		Peso seco (g planta <sup>-1</sup> ) <sup>+</sup>		
Aplicación foliar con zinc	Dosis de zinc kg ha <sup>-1</sup>	Materia seca total	MS Tubérculo	MS Follaje
Sin	0	261.6	219.8	41.7
	20	269.3	231.2	38.1
	40	322.8	281.7	41.1
Con	0	242.4	207.8	34.5
	20	280.5	237.6	42.9
	40	220.8	186.3	34.5
CV %		21.3	23.3	27.9
Aplicación foliar		NS	NS	NS
Dosis de zinc		NS	NS	NS
Aplicación x Dosis		NS	NS	NS

<sup>+</sup>Resultados de la investigación sobre efecto de la biofortificación de zinc en el cultivo de papa mediante la fertilización foliar y edáfica en los suelos de la costa peruana.

#### 4.7 CONCENTRACIÓN DE ZINC EN LAS HOJAS

Para la variable de la concentración de zinc en el follaje se observa que los tratamientos presentaron diferencias estadísticas en el factor fertilización foliar (Tabla 10). El cultivo mostró respuesta evidente a la aplicación foliar con zinc, la cual se expresó en el incremento de su concentración en las hojas. Sin embargo, no se encontró diferencias significativas entre las dosis al suelo y la interacción entre aplicación foliar y fertilización edáfica.

**Tabla 10: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en la concentración de Zn en hojas**

Tratamientos		Zn foliar <sup>+</sup>
Aplicación foliar con zinc	Dosis de zinc kg ha <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Sin	0	71.7
	20	67.5
	40	69.8
Con	0	174.7
	20	164.4
	40	158.9
CV %		9.3
Aplicación foliar		***
Dosis de zinc		NS
Aplicación x Dosis		NS

<sup>+</sup>Resultados de la investigación sobre efecto de la biofortificación de zinc en el cultivo de papa mediante la fertilización foliar y edáfica en los suelos de la costa peruana.

El contenido de zinc foliar en los tratamientos que no lo recibieron por aplicación por aspersión, oscila entre 65 y 70 mg kg<sup>-1</sup>; mientras que, los que, si recibieron, están en un rango de 157 y 175 mg kg<sup>-1</sup>. Los contenidos de zinc en la materia seca de los cultivos van desde 30 a 100 mg kg<sup>-1</sup>, y recién un nivel alto de toxicidad se da recién a los 300 mg kg<sup>-1</sup> (Govindaraj et al., 2011; Noulas et al., 2018), por lo que las plantas responden con la disminución de su biomasa; sin embargo, White et al. (2012) encontraron que concentraciones de zinc de 792 mg kg<sup>-1</sup> no causaron toxicidad. Por otro lado, en 1993, Walworth y Muniz muestran niveles de 21 a 70 mg kg<sup>-1</sup> en el cultivo de papa, llegando a tener niveles de toxicidad a partir de 150 mg kg<sup>-1</sup>.

Al inicio de este estudio no se obtuvo evidencias que respalden los beneficios del zinc en el cultivo, lo que puede atribuirse al fraccionamiento de las aplicaciones foliares y su aporte no significativo de zinc en cada una de ellas, lo cual se refleja en la evaluación de altura de planta a los 55 días. No obstante, al analizar el efecto del zinc total aplicado, por ambas vías y su interacción, el nivel de zinc foliar sugiere que se acumuló grandes cantidades en las hojas que, de acuerdo a los autores mencionados en el párrafo anterior, son tóxicos y pueden haber influenciado en la merma de biomasa de los tratamientos sin generar cambios a nivel morfológico.

#### 4.8 RENDIMIENTO

Para la variable de rendimiento no se expresaron diferencias estadísticas entre los tratamientos en cuanto a la influencia de los factores y su interacción (Tabla 11). A pesar de

ello, el mejor tratamiento fue el que se aportó 40 kg ha<sup>-1</sup> de zinc al suelo sin aplicación foliar, en el cual se obtuvo una producción de 33.3 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 11: Efecto de la fertilización edáfica y foliar con zinc en el rendimiento promedio obtenido en cada una de las parcelas**

Tratamientos		
Aplicación foliar con zinc	Dosis de zinc kg ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>
Sin	0	32.0
	20	30.6
	40	33.3
Con	0	28.6
	20	30.1
	40	31.8
CV %		14.58
Aplicación foliar		NS
Dosis de zinc		NS
Aplicación x Dosis		NS

Entre los tratamientos fertilizados edáficamente hay una tendencia a aumentar el rendimiento y la materia seca del follaje tal como se aprecia en la tabla 10, esto se debe a la importancia del zinc en procesos de síntesis de compuestos que permiten el crecimiento vegetal, siendo el más importante el triptófano, que está presente en varias proteínas y necesario para la producción de la hormona de crecimiento (Havlin et al. 1999)

Mousavi et al. (2007) encontraron que el porcentaje de materia seca, peso de tubérculos y número de tubérculos en papa se ve incrementado por la fertilización con zinc.

Hay una tendencia en los tratamientos que recibieron fertilización foliar a disminuir su rendimiento en comparación a los tratamientos que no recibieron zinc (Figura 14), esto podría deberse a un efecto tóxico en los tejidos foliares (White et al. 2016).

Por otro lado, es importante resaltar que los resultados obtenidos coinciden con algunos investigadores, en los que concluyen que la fertilización edáfica y foliar no constituye una mejora de manera cuantitativa el tubérculo de papa; sin embargo, si existen conclusiones en las que el tubérculo llega a mejorar de manera cualitativa.

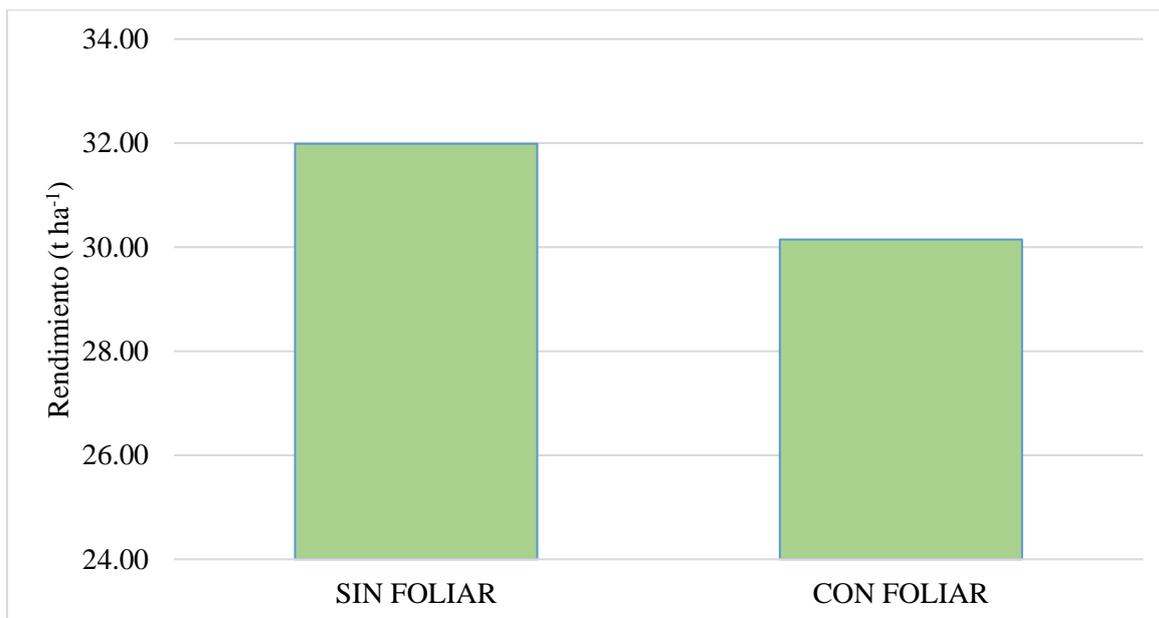


Figura 14: Rendimiento promedio sin y con fertilización foliar

El E<sub>1</sub>F<sub>1</sub> (0-0 kg ha<sup>-1</sup>) no muestra diferencias con el tratamiento que recibió zinc en el suelo, al no obtener respuesta alguna, sugiere que el cultivo no pudo absorber este microelemento, tal vez atribuido al pH alcalino y la presencia de carbonatos del suelo donde se desarrolló este estudio. Las investigaciones indican que el zinc disminuye su disponibilidad a medida que el pH incrementa (Havlin et. al., 1999) y su difusión es limitada bajo condiciones de suelos calcáreos (Zhao et al., 2014). Sumado a ello, el suelo del experimento es sometido a intensa fertilización fosfatada por campaña (160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y su tenor de fósforo disponible es alto (16.2 mg kg<sup>-1</sup>), por lo que puede haber interactuado antagónicamente con el zinc aplicado, tal como refieren Allowat (2008) y Havlin et al. (1999).

## V. CONCLUSIONES

- La concentración de zinc en el cultivo de papa producto de la aplicación edáfica y foliar con sulfato de zinc bajo las condiciones del experimento en la UNALM, no afectan las características biométricas del cultivo de papa variedad UNICA, ni en el incremento del rendimiento de tubérculos.
- Para las condiciones dadas, la única herramienta analítica para determinar la presencia de zinc en el cultivo de papa es el análisis químico de laboratorio.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Bajo condiciones de suelos calcáreos, no recomendamos la fertilización edáfica con sulfato de zinc, En cambio, la fertilización foliar con zinc podría ser una alternativa para complementar la fertilización en el cultivo de papa, según los resultados obtenidos.
- Continuar el estudio usando suelos ácidos y con características diferentes para conocer la respuesta y el comportamiento del cultivo a los tratamientos en cada una de las condiciones.
- Plantear más experimentos con fertilización foliar de zinc, teniendo en cuenta que se obtuvo los mejores resultados bajo esta forma de aporte.

## VII. BIBLIOGRAFIA

Agrodataperu. 2016. Hortalizas, legumbres y frijoles. Lima, Perú. Recuperado en <https://www.agrodataperu.com/exportaciones>

Alloway, BJ. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. Second edition, published by International Zinc Association. Brussels, Belgium.

Arcos, F. 2011. Fertilización y nutrición vegetal. Riobamba. *In* Efecto de la fertilización foliar y edáfica con hierro y zinc para la biofortificación agronómica del tubérculo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Quito, Ecuador. p 124. Recuperado en : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4265/1/13T0809%20.pdf>

Benavides, A. 2011. Absorción de iones por la raíz. Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro. Coahuila, México. p 4-11. Recuperado en DOI:10.13140/RG.2.2.31308.41600

Bidwell. R. 1993. Fisiología Vegetal. México D.F, Mexico.784 p. Recuperado en <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/fisiologiavegetalbidwell.pdf>

Borba, N. 2008. La papa un alimento básico, posibles impactos frente a la introducción de papa transgénica. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL), Uruguay. 11 p. Recuperado en: <http://www.rapaluruway.org/transgenicos/Papa/Papa.pdf>

Booth, R. Shaw, R. 1989. Principios de almacenamiento de papa. Centro Internacional de la papa. Ediciones: Agropecuaria Hemisferio Sur.116p.

Broadley M, Brown P, Cakmak I, Rengel Z, Zhao F. 2012. Function of nutrients: micronutrients. *In* Marschner P ed. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Third Edition. London, England. P 191–248.

Cakmak, I., Marschner, H. 1988. Enhanced superoxide radical production in roots of zinc-deficient plants. *Exp. Bot* 39, 1449-1460.

Campos, C. 2014. Efecto de la fertilización en el rendimiento y características biométricas del cultivo de papa variedad Huayro en la comunidad de Aramacha y (valle del Mantaro)". (Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Lima Perú. Pag. 31-46.

CIP (Centro Internacional de la papa).1997. Informe Técnico Anual 1996-1997 del Proyecto PROMESPA "Proyecto para el Mejoramiento y Semilla de Papa". Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. 65 p.

CIP (Centro Internacional de la papa). 1998. Informe Técnico Anual 1997-1998 del Proyecto PROMESPA "Proyecto para el Mejoramiento y Semilla de Papa". Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. 54 p.

Dagne, Z. 2015. Influence of seed tuber size and plant spacing on yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Holetta, Central Ethiopia. (Tesis Maestria Universidad de Haramaya). Haramaya, Etiopia. Recuperado en [10.4172 / 2329-8863.1000406](https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000406)

Devlin, R. 1999. Fisiología vegetal. Traducido del inglés por Jaime Lilimma Barcelona, España. Omega 1970, pp 223-394

Domínguez, A. 1997. Los elementos nutritivos en el sistema suelo-planta. Fertilidad del suelo. En: Tratado de Fertilización.3ra Ed. Madrid, España, Ediciones Mundi Prensa. 607 pp.

Egúsquiza, R. 2000. La Papa: Producción, Transformación y Comercialización. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Microenterprises and small producer Support Project (MSP). Asociación de Exportadores (ADEX). Lima. 192 p.

Egúsquiza, R. 2014. La papa en el Perú. 2da edición. Lima, Perú, Oficina académica de extensión y extensión de la Universidad Nacional Agraria La Molina. 200 pp

Fregoni, M. 1986. Some aspects of epigeal nutrition of grapevines. In A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin, Alemania. p. 205-211

Figueiredo, D; Barros, P; Cordeiro, A; Serra, T; Lourenço, T; Chander, S; Oliveira, M; Saibo, N. 2012. Seven zinc-finger transcription factors are novel regulators of the stress responsive gene OsDREB1B. Revista Journal of Experimental Botany 63 (10): 3643-56. Recuperado en doi: [10.1093/jxb/ers035](https://doi.org/10.1093/jxb/ers035)

- Gavilanes, L. 2015. Efecto de la fertilización foliar y edáfica con hierro y zinc para la biofortificación agronómica del tubérculo de papa (*Solanum Tuberosum* L.)". Tesis pregrado, Escuela Superior Politecnica de Chinbotazo. Ecuador). Pag 141. 94
- Grandy, G., Weisstaub, G., Lopez, D. 2008. Deficiencia de zinc y hierro en niños. Recuperado de: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-06752010000100005](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-06752010000100005).
- Gil, I. 2012. Efecto del zinc sobre la inducción de ramas productivas en gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 6, No. 2, Pag. 152-160.
- Gil, F. 1995. Elementos de la fisiología vegetal. Ed. rev. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa. p.45-55.
- Govindaraj, M; Pandian, K; Agricultural, D; Arunachalam, P. 2011. Implication of micronutrients in agriculture and health with special reference to iron and zinc. International Journal of Agricultural Management and Development 1(4):207-220.
- Gutierrez, R.; Espinoza, M. 2007. ÚNICA: Variedad peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. Revista Latinoamericana de la Papa. 14(1): 41-51.
- Gutiérrez, R. 2007. UNICA: Variedad peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. Genealogía de la variedad UNICA (imagen), Estabilidad de la variedad UNICA (imagen). Espinoza, J. Bonierbale, M. Lima, Perú. Revista Latinoamericana de la Papa. (2007). 14(1): 41-50
- Gutiérrez, P, 2018. Biofortificación agronómica del cultivo de papa mediante aplicación foliar y edáfica de zinc y su interacción con cadmio. Tesis Maestria. Especialidad de Suelos. EPG, UNALM) Lima Perú. P 103.
- Hafeez, B.; Khanif, Y.; Saleem, M. 2013. Role of Zinc in Plant Nutrition-A Review. American Journal of Experimental Agriculture 3(2):374-391.
- Havlin, J.; Beaton, J.; Tisdale, S. y Nelson, W. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Sexta Edición.

Havlin, J. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Absorción de zinc en suelos calcáreos (grafico). Beaton, J.; Tisdale, S. y Nelson, W. Sexta edición.

Hernández, R. 2002. Libro de botánica. Mérida, Venezuela. Universidad de los Andes. 25 p. Recuperado en:

<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/#oligoelementos%20cati%c3%b3nicos%28zn,fe,cu,mn,ni%29>

Huamán, Z. 1984. Botánica sistemática, identificación, distribución y evolución de la papa cultivada. En: manual sobre manejo de germoplasma. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 39 p.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2014. Censo Agropecuario, Food and Agriculture Organization (FAO). Recuperado en <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria). 1994. Catálogo de semilla básica en el Perú. Publicado por el INIA-proyecto seinpa. Lima-Perú. 49 p.

Inostroza, J. 2009. Manual de papa para La Araucanía: Manejo y plantación. Morfología del cultivo de papa (imagen), Morfología de la flor del cultivo de papa (imagen), Morfología de la hoja del cultivo de papa (imagen). Gaete, N. Méndez, P. Temuco, Chile. Boletín INIA N° 193. P 114.

Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. *In Plant Nutritional Status.* London.p.8-12. Recuperado en [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=yqKV3USG41cC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Marschner,+H.+2002.+Mineral+nutrition+of+higher+plants.+Academic+Press,+London.&ots=Vb8EV0A\\_Ai&sig=PsDLPDfqzK0wbDycDfr1Fx2zZp8#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=yqKV3USG41cC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Marschner,+H.+2002.+Mineral+nutrition+of+higher+plants.+Academic+Press,+London.&ots=Vb8EV0A_Ai&sig=PsDLPDfqzK0wbDycDfr1Fx2zZp8#v=onepage&q&f=false)

Martínez, C.; Huamán, A. 1993. Expresiones metabólicas de resistencia a la sequía en dos clones de papa sometidos a estrés hídrico. (Tesis maestría, EPG – UNALM) Lima, Perú. pp. 34 -35.

Mengel, K; Kirkby, E. 2001. Principles of plant nutrition. s.l. p.846. Recuperado en : <https://doi.org/10.1038/278101a0>.

Molina, E. 2002. Fertilización foliar de cultivos frutícolas. *In* Meléndez, G. y E. Molina(eds.). Memorias Seminario Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones. Laboratorio de Suelo CIA-UCR/ACCS. San José, Costa Rica. P.85-104.

Moreno, U. 1996. Fisiología ambiental de la planta de papa. *In* Manual de producción de papa con semilla sexual. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima. Fasc 1.2.14 p.

Mousavi, SR; Galavi, M; Goudarz, A. 2007. Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on *Solanum tuberosum* L. s.l. p. 1256- 1260. Recuperado en : <https://scialert.net/abstract/?doi=ajps.2007.1256.1260>

Noulas, C; Tziouvalekas, M; Karyotis, T. 2018. Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 49:252-260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>.

Núñez, P. 2016. Fuentes y dosis de fertilización potásica en el crecimiento, tuberización y calidad de fritura de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad única. (Tesis pregrado, UNALM) Lima, Perú. Recuperado en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1979>

Núñez-Moreno, H., A. Walworth, P. Pond y M. Kilby. 2009. Soil zinc fertilization of “Wichita” pecan trees growing under alkaline soil conditions. *HortScience* 44, 1736-1740.

Oyarzún, P.; Chamorro, F.; Córdova, J.; Merino, F.; Valverde, F. y Velásquez, J. 2002. Manejo Agronómico. En: Pumisacho, M. y Sherwood, S. Eds. El cultivo de la papa en Ecuador (En línea). Quito, Ecuador. p. 51-83. Recuperado en : <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>.

Palencia, R. 1989. Curso sobre la producción de papa. CIP. Fondo Nacional de investigaciones. Merida, Venezuela. 50 p.

Risi, J. 2018. Tecnología mundial y tendencias económicas mundiales. *In* World Potato Congress (3, 2018, Cusco, Perú). Recuperado en: <https://www.worldpotatocongress2018-alap.org/en/program/plenarysessions/>

Sánchez, C. 2003. Cultivo y comercialización de la papa. Lima, Perú. 74 p.

Şanlı, A.; Karadoğan, T.; Erbaş, S.; Tosun, B. 2015. The effects of plant density and eye number per seed piece on potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber yield. *Scientific Papers*

58(35): 325- 331. Recuperado en <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153325257>

Santos, A. 2000. Fertilización foliar un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos (En línea). Terra latinoamericana 17(3): 247-255. Recuperado de <http://www.redalyc.org/revista.oa?id=573>

Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. Journal of soil Science and Plant Nutrition 13(4):905-927. Recuperado en <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000072>

Shayanowako, A.; Mangani, R.; Mtaita, T.; Upenyu M. 2015. Influence of Main Stem Density on Irish Potato. A Review. Annual Research & Review in Biology 5 (3): 229-237. Disponible en: DOI: 10.9734 / ARRB / 2015/9973

Segura, A. 2002. Memoria (En línea). Principios y aplicaciones de la fertilización foliar (3,2002, San José, Costa Rica).19 p

Sierra, B. C.; Santos, R. J.; Kalazich, B. J. 2002. Manual de fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. Boletín INIA N° 76. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 104p.

Tirado, R. 2014. Evaluación del rendimiento de clones avanzados de papa (*Solanum tuberosum L.*) con pulpa pigmentada – Cajamarca. (Tesis pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo), Lambayeque. Perú. 96 pp.

Trinidad, A; Aguilar, D. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos (en línea). Terra latinoamericana 17(3):247-255.

UNICA (Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de Ica). 1998. Nuevas variedades de papa con tolerancia al calor y calidad industrial: UNICA, Reiche. Tríptico informativo. Revista Latinoamericana de la Papa 14(1): 41-5. Recuperado en <https://es.scribd.com/document/245791986/Variedad-Unica>

UNICEF (Organización de las naciones unidas para la educación, la ciencia y la cultura). 2012. UNICEF, PMA Y OPS trabajan juntos contra la desnutrición infantil. 2 p. Recuperado en: [https://www.unicef.org/peru/spanish/children\\_13269.html](https://www.unicef.org/peru/spanish/children_13269.html)

Valverde, F., Córdova, J., Parra, R. 1998. Fertilización del cultivo de la papa. Recuperado de: [cipotato.org/región-quito/información/inventario-de-tecnologia/manual-fertilizacion\\_bajo.pdf](http://cipotato.org/región-quito/información/inventario-de-tecnologia/manual-fertilizacion_bajo.pdf).

Vásquez, E. 2003. Influencia de los factores ambientales en la predicción del comportamiento de los clones de papa para la costa del Perú. (Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina), Lima, Perú. p. 102.

Vélez, R. 2013. Efecto de la fertilización foliar y edáfica con hierro y zinc para la biofortificación agronómica del tubérculo de papa (*Solanum tuberosum L.*) bajo invernadero, Cutuglagua, Pichincha. (Tesis pregrado, Universidad Central del Ecuador) Quito, Ecuador. p. 1-16

Walworth, J.; Muniz, J. 1993. A compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes. *American Potato Journal* 70:579-597.

White, PJ; Whiting, SN; Baker, AJ; Broadley, MR. 2002. Does zinc move apoplastically to the xylem in roots of *Thlaspi caerulescens*. *Revista New Phytologist* (2002) 153: 153:201-207. Recuperado en <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.0028-646X.2001.00325.x>

White, PJ; Broadley, MR; Hammond, JP; Ramsay, G; Subramanian, NK; Thompson, J; Wright, G. 2012. Bio-fortification of potato tubers using foliar zinc-fertiliser. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 87(2): 123-129.

White, PJ; Thompson, JA; Wright, G; Rasmussen, SK. 2016. Biofortifying Scottish potatoes with zinc. *Plant and Soil* 2016: 1-15.

Zhao, A. Qing; Tian, X. Hong; Cao, Y. Xian; Lu, X. Chun; Liu, T. 2014. Comparison of soil and foliar zinc application for enhancing grain zinc content of wheat when grown on potentially zinc-deficient calcareous soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(10):2016-2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6518>.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de altura

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	0.11	0.05	0.004	0.9964
Apl Foliar	1	14.11	14.11	0.971	0.3400
Bloque	3	147.89	49.30	3.394	0.0457 *
Dosis: Apl	2	32.15	16.07	1.107	0.3562
Residuals	15	217.84	14.52		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
14.94533	15	35.50833	26.6	44.7	10.88736	8.8143	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	33.250	4	26.6	41.1	6.19	3.095	a
<b>0</b>	Sin	37.675	4	33.5	42.1	4.04	2.02	a
<b>20</b>	Con	35.750	4	32.8	39.1	2.74	1.37	a
<b>20</b>	Sin	35.750	4	33.0	37.4	2.04	1.02	a
<b>40</b>	Con	35.225	4	32.0	39.9	3.38	1.69	a
<b>40</b>	Sin	35.400	4	29.5	44.7	6.79	3.395	a

## Anexo 2: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 2 de altura

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	54.43	27.22	2.727	0.0977
Apl Foliar	1	0.20	0.2	0.020	0.8888
Bloque	3	18.50	6.17	0.618	0.6140
Dosis: Apl	2	93.56	46.78	4.688	0.262 *
Residuals	15	149.68	9.98		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
16.78089	15	51.55833	43.8	59.7	7.945269	9.411047	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	49.675	4	45.0	51.4	3.1255	1.5627	a
<b>0</b>	Sin	53.750	4	48.6	59.7	4.5552	2.2776	a
<b>20</b>	Con	52.275	4	47.6	54.5	3.1531	1.5765	a
<b>20</b>	Sin	50.450	4	43.8	57.1	6.3574	3.1787	a
<b>40</b>	Con	52.450	4	50.0	56.4	2.8112	1.4056	a
<b>40</b>	Sin	50.750	4	49.8	52.4	1.1357	0.5678	a

### Anexo 3: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 3 de altura

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	18.25	9.124	1.056	0.3725
Apl Foliar	1	1.21	1.215	0.141	0.7130
Bloque	3	12.74	4.245	0.491	0.6937
Dosis: Apl	2	53.56	26.779	3.098	0.0748
Residuals	15	129.65	8.643		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
6.531333	15	52.175	46.8	57.8	4.89822	5.871261	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	54.900	4	53.4	56.5	1.7339	0.86695	a
<b>0</b>	Sin	55.000	4	50.8	57.8	2.9799	1.48995	a
<b>20</b>	Con	52.275	4	50.3	55.1	2.0303	1.01515	a
<b>20</b>	Sin	50.500	4	46.8	53.5	3.3196	1.6598	a
<b>40</b>	Con	50.025	4	48.8	52.5	1.6820	0.841	a
<b>40</b>	Sin	50.350	4	48.8	54.3	2.6539	1.32695	a

#### Anexo 4: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 4 de altura

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	142.18	71.09	4.164	0.0364 *
Apl Foliar	1	8.88	8.88	0.520	0.4818
Bloque	3	74.68	24.89	1.458	0.2657
Dosis: Apl	2	26.78	13.39	0.784	0.4742
Residuals	15	256.05	17.07		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
19.00444	15	42.16667	30.0	49.7	10.33852	10.01516	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	39.350	4	36.9	41.1	2.1000	1.05	a
<b>0</b>	Sin	38.825	4	30.0	49.7	8.8875	4.44375	a
<b>20</b>	Con	43.375	4	40.4	47.4	2.9691	1.48455	a
<b>20</b>	Sin	46.025	4	43.8	47.4	1.5500	0.775	a
<b>40</b>	Con	41.950	4	38.4	46.6	3.8905	1.94525	a
<b>40</b>	Sin	43.475	4	38.9	46.3	3.1878	1.5939	a

## Anexo 5: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de cobertura

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	7.1	3.55	0.097	0.908
Apl Foliar	1	3.2	3.23	0.089	0.770
Bloque	3	93.6	31.2	0.857	0.484
Dosis: Apl	2	8.4	4.19	0.115	0.892
Residuals	15	545.8	36.39		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
32.29333	15	52.86667	43.2	70.4	10.74916	13.0553	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	50.8	4	48.8	51.6	1.3466	0.6733	a
<b>0</b>	Sin	54.3	4	51.2	56.4	2.2949	1.14745	a
<b>20</b>	Con	55.9	4	46.8	70.4	10.1738	5.0869	a
<b>20</b>	Sin	52.9	4	49.2	54.0	2.1664	1.0832	a
<b>40</b>	Con	53.0	4	43.2	60.8	7.7321	3.86605	a
<b>40</b>	Sin	50.8	4	45.2	54.4	4.1952	2.0976	a

## Anexo 6: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 2 de cobertura

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	235.4	117.68	3.474	0.0479 *
Apl Foliar	1	6.6	6.62	0.211	0.6529
Bloque	3	15.7	5.25	0.167	0.9169
Dosis: Apl	2	160.0	79.98	2.547	0.1116
Residuals	15	471.1	31.41		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
54.05011	15	84.275	72.4	94.2	8.72367	16.88997	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	81.65	4	78.2	86.6	3.742993	1.8715	a
<b>0</b>	Sin	83.40	4	76.2	90.4	5.844656	2.9223	a
<b>20</b>	Con	83.45	4	72.4	94.2	12.07904	6.0395	a
<b>20</b>	Sin	84.90	4	78.8	91.4	5.427093	2.7135	a
<b>40</b>	Con	86.15	4	80.4	92.4	5.598512	2.7993	a
<b>40</b>	Sin	86.10	4	82.4	92.4	4.541659	2.2708	a

## Anexo 7: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 3 de cobertura

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	67.32	33.66	2.200	0.145
Apl Foliar	1	0.14	0.14	0.009	0.926
Bloque	3	7.42	2.47	0.162	0.921
Dosis: Apl	2	27.43	13.71	0.896	0.429
Residuals	15	229.49	15.30		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
20.58611	15	91.05833	80.4	96.6	4.98273	10.4236	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	91.00	4	86.8	94.0	3.089768	1.5449	a
<b>0</b>	Sin	91.25	4	86.8	94.4	3.218178	1.6091	a
<b>20</b>	Con	90.10	4	80.4	96.6	7.263608	3.6318	a
<b>20</b>	Sin	90.00	4	84.8	94.2	4.179314	2.0897	a
<b>40</b>	Con	91.85	4	90.2	94.4	1.968925	0.9845	a
<b>40</b>	Sin	92.15	4	88.8	96.4	3.375895	1.6879	a

## Anexo 8: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 4 de cobertura

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	66.80	33.40	2.003	0.1694
Apl Foliar	1	113.53	113.53	6.809	0.0197 *
Bloque	3	50.67	16.89	1.013	0.4144
Dosis: Apl	2	116.73	58.36	3.501	0.0565 .
Residuals	15	250.10	16.67		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
27.40656	15	58.64167	47.8	67.2	8.927316	12.02701	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	61.00	4	57.8	67.2	4.211096	2.1055	a
<b>0</b>	Sin	57.60	4	51.4	65.2	5.738757	2.8694	a
<b>20</b>	Con	60.80	4	58.4	62.0	1.657307	0.8287	a
<b>20</b>	Sin	54.55	4	47.8	62.8	6.779135	3.3896	a
<b>40</b>	Con	60.65	4	59.4	63.4	1.864582	0.9323	a
<b>40</b>	Sin	57.25	4	47.8	64.8	7.146794	3.5734	a

## Anexo 9: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de la distancia de entrenudos

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	1.120	0.560	0.488	0.623
Apl Foliar	1	0.375	0.375	0.327	0.576
Bloque	3	4.032	1.344	1.171	0.354
Dosis: Apl	2	3.040	1.520	1.324	0.295
Residuals	15	17.218	1.148		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
0.7132222	15	9.175	7.4	10.8	9.204631	1.940184	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	8.70	4	8.4	9.6	0.6000000	0.3000	ab
<b>0</b>	Sin	9.85	4	9.2	10.4	0.5507571	0.2754	a
<b>20</b>	Con	9.45	4	8.0	10.4	1.1704700	0.5852	ab
<b>20</b>	Sin	9.40	4	7.6	10.4	1.2436505	0.6218	ab
<b>40</b>	Con	9.75	4	8.6	10.8	1.0246951	0.5123	ab
<b>40</b>	Sin	7.90	4	7.4	8.6	0.5291503	0.2646	b

## Anexo 10: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 2 de la distancia de entrenudos

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	0.341	0.1704	0.132	0.878
Apl Foliar	1	3.154	3.1538	2.439	0.139
Bloque	3	1.455	0.4849	0.375	0.772
Dosis: Apl	2	1.507	0.7537	0.583	0.570
Residuals	15	19.393	1.2929		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
0.9615278	15	12.52917	10.0	15.2	7.82634	2.252742	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	11.350	4	10.0	12.4	1.1474610	0.5737	a
<b>0</b>	Sin	13.525	4	12.2	15.2	1.5085865	0.7543	a
<b>20</b>	Con	12.550	4	11.6	13.6	0.8544004	0.4272	a
<b>20</b>	Sin	12.350	4	11.8	12.8	0.4123106	0.2062	a
<b>40</b>	Con	12.600	4	11.8	13.2	0.5887841	0.2944	a
<b>40</b>	Sin	12.800	4	12.0	13.6	0.6733003	0.3367	a

### Anexo 11: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 3 de la distancia de entrenudos

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	1.142	0.5712	0.845	0.4491
Apl Foliar	1	3.010	3.0104	4.452	0.0521
Bloque	3	2.955	0.9849	1.456	0.2662
Dosis: Apl	2	1.266	0.6329	0.936	0.4139
Residuals	15	10.143	0.6762		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
0.7315278	15	12.8625	10.6	15.0	6.649516	1.964925	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	12.050	4	10.6	13.2	1.0878113	0.5439	a
<b>0</b>	Sin	13.300	4	12.4	15.0	1.1832160	0.5916	a
<b>20</b>	Con	12.600	4	11.8	13.4	0.6531973	0.3266	a
<b>20</b>	Sin	13.300	4	12.4	14.2	0.7393691	0.3697	a
<b>40</b>	Con	12.875	4	12.4	13.4	0.4991660	0.2496	a
<b>40</b>	Sin	13.050	4	12.0	14.2	0.9146948	0.4573	a

## Anexo 12: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 4 de la distancia de entrenudos

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	1.51	0.7550	0.902	0.427
Apl Foliar	1	0.96	0.9600	1.146	0.301
Bloque	3	1.74	0.5800	0.693	0.571
Dosis: Apl	2	2.29	1.1450	1.367	0.285
Residuals	15	12.56	0.8373		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
0.636	15	9.45	7.6	11.6	8.439112	1.832142	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	9.05	4	8.6	9.6	0.4434712	0.2217	a
<b>0</b>	Sin	10.25	4	9.4	10.6	0.5744563	0.2872	a
<b>20</b>	Con	9.60	4	8.4	10.2	0.8164966	0.4082	a
<b>20</b>	Sin	10.05	4	9.4	11.6	1.0376255	0.5188	a
<b>40</b>	Con	9.10	4	8.6	10.4	0.8717798	0.4359	a
<b>40</b>	Sin	8.65	4	7.6	9.6	0.8544004	0.4272	a

### Anexo 13: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de los tallos por metro lineal

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	5.08	2.540	1.986	0.172
Apl Foliar	1	0.01	0.007	0.005	0.943
Bloque	3	64.44	21.480	16.799	4.63 e-05 ***
Dosis: Apl	2	4.17	2.087	1.632	0.228
Residuals	15	19.18	1.279		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
1.148	15	10.9	8.2	14.6	9.829795	2.461509	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	11.80	4	9.4	14.6	2.286190	1.1431	a
<b>0</b>	Sin	11.00	4	9.8	14.2	2.135416	1.0677	a
<b>20</b>	Con	10.40	4	8.2	12.6	1.825742	0.9129	a
<b>20</b>	Sin	11.75	4	9.2	14.4	2.137756	1.0689	a
<b>40</b>	Con	10.45	4	9.6	12.2	1.226105	0.6131	a
<b>40</b>	Sin	10.00	4	8.2	14.2	2.833137	1.4166	a

## Anexo 14: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 2 de los tallos por metro lineal

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	3.72	1.862	0.660	0.531
Apl Foliar	1	0.28	0.282	0.100	0.756
Bloque	3	4.46	1.486	0.527	0.670
Dosis: Apl	2	9.60	4.802	1.703	0.216
Residuals	15	42.29	2.819		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
2.071444	15	10.79167	8.8	15.8	13.33669	3.306489	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	12.30	4	9.6	15.8	2.8495614	1.4248	a
<b>0</b>	Sin	11.35	4	10.4	12.4	0.8225975	0.4113	a
<b>20</b>	Con	9.80	4	8.8	11.2	1.0066446	0.5033	a
<b>20</b>	Sin	9.70	4	9.6	9.8	0.1154701	0.0577	a
<b>40</b>	Con	9.95	4	9.4	10.6	0.5507571	0.2754	a
<b>40</b>	Sin	11.65	4	10.0	12.8	1.3102163	0.6551	a

**Anexo 15: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 3 de los tallos por metro lineal**

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	8.643	4.322	5.062	0.0209 *
Apl Foliar	1	1.402	1.402	5.062	0.2195
Bloque	3	1.445	0.482	0.564	0.6469
Dosis: Apl	2	3.503	1.752	2.052	0.1630
Residuals	15	12.805	0.854		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
1.340333	15	11.20833	9.2	13.6	10.32917	2.659726	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	11.95	4	10.6	13.4	1.2151817	0.6076	a
<b>0</b>	Sin	11.10	4	9.8	12.2	0.9865766	0.4933	a
<b>20</b>	Con	11.65	4	9.8	13.6	1.5524175	0.7762	a
<b>20</b>	Sin	10.45	4	9.8	11.2	0.5744563	0.2872	a
<b>40</b>	Con	10.75	4	9.2	11.8	1.1474610	0.5737	a
<b>40</b>	Sin	11.35	4	10.4	12.4	0.8225975	0.4113	a

## Anexo 16: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 4 de los tallos por metro lineal

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	1.631	0.8154	0.701	0.511
Apl Foliar	1	2.100	2.1004	1.807	0.199
Bloque	3	8.651	2.8838	2.481	0.101
Dosis: Apl	2	3.761	1.8804	1.618	0.231
Residuals	15	17.436	1.1624		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
1.19775	15	10.85417	9.0	13.4	10.08293	2.514279	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	11.600	4	10.6	12.4	0.7483315	0.3742	a
<b>0</b>	Sin	10.600	4	10.0	11.8	0.8164966	0.4082	a
<b>20</b>	Con	10.800	4	10.2	11.8	0.7118052	0.3559	a
<b>20</b>	Sin	11.200	4	9.4	13.4	1.7204651	0.8602	a
<b>40</b>	Con	11.050	4	9.4	12.4	1.3304135	0.6652	a
<b>40</b>	Sin	9.875	4	9.0	12.2	1.5521490	0.7761	a

## Anexo 17: Análisis de Varianza (ANVA) para la evaluación 1 de los tallos principales

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	0.7900	0.3950	22.219	3.28e-05 ***
Apl Foliar	1	0.067	0.067	0.375	0.549
Bloque	3	0.0133	0.044	0.250	0.860
Dosis: Apl	2	0.0433	0.0217	1.219	0.323
Residuals	15	0.2667	0.0178		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
0.06444444	15	1.5	1.2	1.8	16.92394	0.5832076	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	1.45	4	1.2	1.8	0.2516611	0.1258	a
<b>0</b>	Sin	1.45	4	1.2	1.6	0.1914854	0.0957	a
<b>20</b>	Con	1.55	4	1.4	1.8	0.1914854	0.0957	a
<b>20</b>	Sin	1.45	4	1.2	1.8	0.2516611	0.1258	a
<b>40</b>	Con	1.45	4	1.2	1.8	0.3000000	0.1500	a
<b>40</b>	Sin	1.65	4	1.4	1.8	0.1914854	0.0957	a

## Anexo 18: Análisis de Varianza (ANVA) para peso seco de la muestra de follaje

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	27.6	13.81	0.117	0.225
Apl Foliar	1	44.1	44.13	0.374	0.550
Bloque	3	576.5	192.16	1.627	0.225
Dosis: Apl	2	169.1	84.57	0.716	0.505
Residuals	15	1771.5	118.1		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
118.10		38.97	22.87	68.97	27.87		24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	R	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	34.519	4	29.529	43.712	6.379	3.190	a
<b>0</b>	Sin	41.737	4	36.665	51.865	7.078	3.539	a
<b>40</b>	Con	35.461	4	27.374	47.704	8.707	4.353	a
<b>40</b>	Sin	41.121	4	22.871	55.606	14.581	7.291	a
<b>20</b>	Con	42.852	4	25.933	68.966	19.085	9.543	a
<b>20</b>	Sin	38.109	4	32.849	47.059	6.261	3.131	a

## Anexo 19: Análisis de Varianza (ANVA) para peso seco de la muestra de tubérculo

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	2207	1104	0.392	0.682
Apl Foliar	1	6801	6801	2.416	0.141
Bloque	3	8389	2796	0.993	0.423
Dosis: Apl	2	11785	5893	2.093	0.158
Residuals	15	42232	2815		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	Num
5.724826	15	227.4	122.50	356.08	23.33	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	207.836	4	122.500	356.082	106.509	53.255	a
<b>0</b>	Sin	219.841	4	199.584	260.609	28.691	14.346	a
<b>40</b>	Con	186.254	4	165.836	216.214	21.293	10.646	a
<b>40</b>	Sin	281.689	4	267.055	301.378	15.035	7.517	a
<b>20</b>	Con	237.606	4	197.776	252.839	26.641	13.320	a
<b>20</b>	Sin	231.172	4	177.121	312.309	57.595	28.798	a

## Anexo 20: Análisis de Varianza (ANVA) para peso seco total de la muestra

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	2515	1258	0.390	0.684
Apl Foliar	1	7941	7941	2.460	0.138
Bloque	3	12243	4081	1.264	0.322
Dosis: Apl	2	13488	6744	2.089	0.158
Residuals	15	46426	3228		

Mserror	Df	Mean	Min	Max	CV	Num
5.724826	15	266.37	152.03	399.79	21.33	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	242.355	4	152.029	399.795	112.847	56.424	a
<b>0</b>	Sin	261.579	4	236.985	297.274	25.707	12.853	a
<b>40</b>	Con	221.715	4	197.898	243.588	19.371	9.686	a
<b>40</b>	Sin	322.810	4	296.397	351.010	26.944	13.472	a
<b>20</b>	Con	280.458	4	223.709	320.899	40.906	20.453	a
<b>20</b>	Sin	269.281	4	209.970	359.368	63.663	31.832	a

## Anexo 21: Análisis de varianza (ANVA) para la variable concentración de Zn foliar

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	355	177	1.482	0.259
Apl Foliar	1	55729	55729	465.917	1.04e-12 ***
Bloque	3	218	73	0.608	0.620
Dosis: Apl	2	192	96	0.801	0.467
Residuals	15	1794	120		

Mserror	Df	Mean	Min	Max	CV	Num
119.61	15	117.83	55.00	182.75	9.28	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	174.688	4	165.00	182.750	8.179	4.089	
<b>0</b>	Sin	71.688	4	61.500	80.750	8.097	4.048	
<b>40</b>	Con	158.93	4	149.750	169.750	9.953	4.976	
<b>40</b>	Sin	69.750	4	59.500	85.500	11.610	5.805	
<b>20</b>	Con	164.438	4	154.500	174.150	10.639	5.319	
<b>20</b>	Sin	67.500	4	55.000	84.750	13.831	6.915	

## Anexo 22: Análisis de Varianza (ANVA) para rendimiento

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	25.4	12.71	0.537	0.595
Apl Foliar	1	20.4	20.38	0.861	0.368
Bloque	3	116.9	38.95	1.645	0.221
Dosis: Apl	2	8.4	4.19	0.177	0.839
Residuals	15	355.2	23.68		

MSError	Df	Mean	Min	Max	CV	MSD	Num
20.52228	15	31.06836	21.6666	41.4057	14.58124	10.40742	24

Comparación de medias: HSD – Test

Dosis	Aplicación foliar	Mean	r	Min	Max	Std	Ste	sg
<b>0</b>	Con	27.36057	4	24.7536	29.4752	2.2346	1.1173	a
<b>0</b>	Sin	33.73740	4	26.6122	41.4057	6.8112	3.4056	a
<b>20</b>	Con	30.73089	4	21.6666	39.0543	7.1168	3.5584	a
<b>20</b>	Sin	29.94392	4	26.7095	34.2157	3.3743	1.6872	a
<b>40</b>	Con	32.34916	4	28.7734	37.8967	3.9380	1.9690	a
<b>40</b>	Sin	32.28819	4	29.4592	37.4840	3.5544	1.7772	a