

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“FRACCIONAMIENTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR CON
ZINC EN LA BIOFORTIFICACIÓN AGRONÓMICA DEL CULTIVO
DE PAPA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA

MARILU ACUÑA EULOGIO











LIMA - PERÚ

2022

Document Information

Analyzed document	TESIS ACUÑA final.pdf (D143789455)
Submitted	2022-09-08 21:12:00
Submitted by	Pedro Pablo Gutierrez Vilchex
Submitter email	pgutierrez@lamolina.edu.pe
Similarity	10%
Analysis address	pgutierrez.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3769/gutierrez-vilchex-pedro-pablo.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 2022-06-02 00:21:49		6
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / Revisión Tesis Final - Chung2022 - Forma 2.docx Document Revisión Tesis Final - Chung2022 - Forma 2.docx (D129093521) Submitted by: fchung@lamolina.edu.pe Receiver: fchung.unalm@analysis.arkund.com		1
SA	Tesis Ruben Corregida.doc Document Tesis Ruben Corregida.doc (D25409383)		2
W	URL: https://www.sbfv.org.br/wp-content/uploads/2021/08/XVII-ANAIS.pdf Fetched: 2021-12-03 18:02:00		1
W	URL: http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n-082-2014-inei.pdf Fetched: 2022-09-08 21:13:00		3
W	URL: http://redalyc.org/pdf/4759/475947762013.pdf Fetched: 2022-09-08 21:13:00		5
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / FernandoChung.docx Document FernandoChung.docx (D125828479) Submitted by: fchung@lamolina.edu.pe Receiver: fchung.unalm@analysis.arkund.com		1
SA	proyecto de tesis mirtha morales durand.docx Document proyecto de tesis mirtha morales durand.docx (D66769661)		1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / Tesis Final Final Maestría Chung.pdf Document Tesis Final Final Maestría Chung.pdf (D123635033) Submitted by: fchung@lamolina.edu.pe Receiver: fchung.unalm@analysis.arkund.com		4
W	URL: https://fi-admin.bvsalud.org/document/view/gr8vx Fetched: 2021-03-01 11:05:55		1

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“FRACCIONAMIENTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR CON ZINC
EN LA BIOFORTIFICACIÓN AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE PAPA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA

MARILU ACUÑA EULOGIO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto
PRESIDENTE

.....
Rolando Percy Egúsquiza Bayona
CO- ASESOR

.....
Ing. Mg. Sc. Pedro Pablo Gutiérrez Vélchez
ASESOR

.....
Ing. Luis Rodrigo Tomassini Vidal
MIEMBRO

.....
Ing. Mg. Sc. Braulio La torre Martínez
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A dios por guiar mis pasos siempre.

A mis padres César Acuña Huarcaya y Rumalda Eulogio Martínez por ser mis ejemplos de perseverancia y mis motores para afrontar cada etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Mg. Sc. Pedro Pablo Gutiérrez Vílchez y al Ing. Mg. Sc. Rolando Egúsquiza Bayona por su paciencia, orientación en la elaboración y corrección de mi tesis.

Al Ing. Luis Tomassini Vidal y al Ing. Julián Chura Chuquija por compartir su conocimiento, tolerancia y paciencia.

Al Ing. Gilberto Rodríguez Soto y los involucrados en la coordinación con el fundo Don Germán y ser el apoyo en la conducción de la parte experimental de mi tesis.

A mis amigos que siempre estuvieron motivándome para continuar y no desistir con la tesis.

ÍNDICE GENERAL

I INTRODUCCIÓN	1
II REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Situación actual	3
2.2 Zinc en los humanos.....	4
2.3 Biofortificación	5
2.4 Biofortificación agronómica en el cultivo de papa.....	6
2.5 Cultivo de papa.....	7
2.5.1 Variedad UNICA.....	8
2.5.2 Aportes nutricionales.....	9
2.5.3 Nutrición mineral	11
2.6 Zinc en la planta	12
2.6.1 Deficiencia	12
2.6.2 Toxicidad y tolerancia.....	13
2.7 Zinc en el suelo	14
2.8 Fertilización foliar	15
III METODOLOGÍA	18
3.1 Características del campo experimental	18
3.1.1 Ubicación	18
3.1.2 Características climáticas	18
3.1.3 Características del suelo	19
3.1.4 Características del agua.....	19
3.2 Materiales.....	20
3.2.1 Semilla.....	20
3.3 Factores en estudio	20
3.4 Área de la parcela experimental	20
3.5 Manejo agronómico del campo experimental	21
3.6 Características evaluadas.....	23
3.6.1 Características biométricas.....	23
3.6.2 Análisis químico.....	24

3.7 Diseño experimental.....	25
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Cobertura foliar	27
4.2 Altura de planta	29
4.3 Rendimiento	30
4.4 Masa seca en pulpa (MSP)	32
4.5 Materia seca en cáscara (MSC)	34
4.6 Materia seca de hojas (MSH)	34
4.7 Concentración de Zn en Pulpa, cáscara y hojas	36
4.8 Concentración de Zn en Pulpa	36
4.9 Concentración de zinc en cáscara.....	37
4.10 Concentración de zinc en hojas	38
4.11 Extracción de zinc en el tubérculo de papa	40
4.12 Aparente eficiencia de recuperación de nutriente (AER).....	42
V CONCLUSIONES	43
VI RECOMEDACIONES	44
VII BIBLIOGRAFIA	45
VIII ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición promedio en una porción de 100 g de papa	10
Tabla 2: Contenido de zinc y fitato de diferentes alimentos y cantidad estimada de zinc disponible para absorción	11
Tabla 3: Movilidad comparativa de diferentes nutrimentos en la planta.....	16
Tabla 4: Velocidad de absorción de diferentes nutrimentos en la hoja de frijol.....	16
Tabla 5: Datos meteorológicos Junio – Setiembre 2018	18
Tabla 6: Dosis y Fraccionamiento de aplicación foliar de zinc.....	20
Tabla 7: Características de la parcela experimental	20
Tabla 8: Dosis de fertilizantes (kg ha^{-1}) empleados en el cultivo de papa.....	22
Tabla 9: Características de la fertilización foliar en los tratamientos.....	22
Tabla 10: Análisis de varianza para altura de planta, rendimiento y cobertura de planta.	27
Tabla 11: Resultado de altura de planta (cm), rendimiento (Mg ha^{-1}).....	28
Tabla 12: Análisis de varianza para materia seca en: hoja, cáscara y pulpa del tubérculo de papa. 32	
Tabla 13: Resultado de masa seca en pulpa, cáscara y hojas (g planta)	33
Tabla 14: Análisis de varianza para contenido de zinc en hoja, pulpa y cáscara del tubérculo de papa	35
Tabla 15: Resultado de concentración de zinc en pulpa, cáscara y hojas (mg kg^{-1}).....	35
Tabla 16: Análisis de varianza para extracción de zinc en tubérculo de papa.....	40
Tabla 17: Extracción de zinc en tubérculos de cultivo de papa (g ha^{-1}).	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tendencia en la prevalencia de desnutrición crónica infantil 2010-2017 a nivel mundial.	4
Figura 2: Tipos de biofortificación.....	5
Figura 3: Producción de papa en el Perú.....	8
Figura 4: Croquis del campo experimental	21
Figura 5: Efecto de la aplicación foliar con zinc (kg ha^{-1}) sobre la cobertura foliar (%).....	28
Figura 6: Efecto de la aplicación foliar con zinc (kg ha^{-1}) sobre la altura de planta a los 83 días después de la siembra.....	29
Figura 7: Efecto de la dosis de aplicación foliar con zinc (kg ha^{-1}) sobre el rendimiento (Mg ha^{-1})	30
Figura 8: Efecto de la aplicación foliar con zinc (kg ha^{-1}) sobre el rendimiento (Mg ha^{-1})	30
Figura 9: Interacción dosis*fracción de aplicación en MSP en tubérculo de papa (gr planta^{-1}).....	33
Figura 10: Efecto de aplicación foliar con zinc (kg ha^{-1}) sobre la concentración de zinc	36
Figura 11: Efecto de la aplicación foliar con Zn en la extracción de Zn en el tubérculo de papa (g ha^{-1})	40
Figura 12: Interacción de fracción* dosis en la extracción de Zn en tubérculos de papa (g ha^{-1})....	41
Figura 13: Efecto de los tratamientos sobre la aparente eficiencia de recuperación de nutrientes (%)	42

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 8.1: Análisis de varianza para el parámetro rendimiento (Mg ha^{-1})	51
ANEXO 8.2 Análisis de varianza para parámetro altura de planta (cm).....	52
ANEXO 8.3 Análisis de varianza para el parámetro cobertura (%).....	52
ANEXO 8.4 Análisis de varianza para el parámetro masa seco de cáscara (g planta^{-1})	53
ANEXO 8.5 Análisis de Varianza para el parámetro masa seco pulpa (g planta^{-1})	53
ANEXO 8.6 Análisis de varianza para el parámetro masa seca en hojas (g planta^{-1}).....	54
ANEXO 8.7 Análisis de varianza para el contenido de zinc en pulpa (mg kg^{-1})	55
ANEXO 8.8 Análisis de varianza para el contenido de zinc en cáscara (mg kg^{-1})	55
ANEXO 8.9 Análisis de variancia para el parámetro contenido de zinc en hojas (mg kg^{-1})	56
ANEXO 8.10 Análisis de variancia para el parámetro extracción de zinc en tubérculo de papa (g ha^{-1})	57
ANEXO 8.11 Análisis de suelo	58
ANEXO 8.12 Análisis de agua.....	59
Anexo 8.13: Principales actividades realizadas en el manejo del experimento	60
ANEXO 8.14 Cultivo de papa 48 días después de la siembra	61
Anexo 8.15: Registro fotográfico	66

RESUMEN

“FRACCIONAMIENTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR CON ZINC EN LA BIOFORTIFICACIÓN AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE PAPA”

La limitación de zinc en los suelos provoca una deficiencia en los cultivos, generando alimentos con poca concentración de este micronutriente. La biofortificación agronómica mediante fertilización foliar o edáfica, es una alternativa para enriquecer el contenido de micronutrientes en la parte comestible de los alimentos. Los tubérculos de papa, son un alimento de fácil acceso para las familias que viven en áreas rurales. Considerando lo mencionado y los buenos resultados que se obtuvieron en diferentes estudios sobre biofortificación, el presente trabajo busca evaluar la contribución de la biofortificación agronómica del cultivo de papa de la variedad UNICA, con aplicaciones foliares de sulfato de zinc. El experimento se realizó en el IRD – Costa, en el distrito de Cañete, provincia de Cañete - Lima, en la campaña agrícola del 2018. Se evaluaron cinco tratamientos en los que se combinaron dos dosis de zinc (5 y 10 kg Zn ha⁻¹) aplicados en dos fraccionamientos (4 y 8 aplicaciones foliares) y un control (sin aplicaciones foliares de zinc). Las aplicaciones foliares con Zn se iniciaron a los 42 días después de la siembra. Se empleó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, siendo la unidad experimental parcelas de 30 m². Las variables evaluadas fueron: rendimiento, cobertura, altura de planta y concentración de zinc en hojas, cáscara y pulpa del tubérculo de papa.

Los resultados en los tratamientos con las aplicaciones foliares de zinc (sulfato de zinc heptahidratado) en el cultivo de papa, muestran que es posible incrementar la concentración de este elemento en la cáscara del tubérculo en 88.26% (de 19.6 mg Zn kg⁻¹ MS hasta 36.9 mg Zn kg⁻¹ MS) y en 67.5% en la pulpa (de 12.0 mg Zn kg⁻¹ MS a 20.1 mg Zn kg⁻¹ MS). Sin embargo, las aplicaciones foliares con zinc afectaron negativamente la altura, cobertura foliar, el rendimiento total y la materia seca del tubérculo de papa.

Palabras claves: micronutriente, nutrición, sulfato de zinc.

ABSTRACT

“FRACTIONATION OF FOLIAR FERTILIZATION WITH ZINC IN THE AGRONOMIC BIOFORTIFICATION OF POTATO CROPS”

The limitation of zinc in soils causes a deficiency in crops, generating food with a low concentration of this micronutrient. Agronomic biofortification through foliar or soil fertilization is an alternative to enrich the content of micronutrients in the edible part of food. Being the potato tuber, an easily accessible food for families living in rural areas. Considering the aforementioned and the good results obtained in different studies on biofortification, the present work seeks to evaluate the contribution of agronomic biofortification of the potato crop of the UNICA variety, with foliar applications of zinc sulfate.

The experiment was carried out at the IRD – Costa, in the district of Cañete, province of Cañete-Lima, in the 2018 agricultural campaign. Five treatments were evaluated in which two doses of zinc were combined (5 and 10 kg Zn ha⁻¹) applied in two divisions (: 4 and 8 foliar applications) and a control (without zinc foliar applications). Foliar applications with Zn were started 42 days after sowing. A completely randomized block design with four replications was used, the experimental unit being plots of 30 m². The variables evaluated were yield, coverage, plant height and zinc concentration in leaves, peel and pulp of the potato tuber. The results of treatments with foliar applications of zinc (zinc sulfate heptahydrate) in potato crops show that it is possible to increase the concentration of this element in the tuber peel by 88.26% (from 19.6 mg Zn kg⁻¹ MS up to 36.9 mg Zn kg⁻¹ MS) and 67.5% in the pulp (from 12.0 mg Zn kg⁻¹ MS to 20.1 mg Zn kg⁻¹ MS). However, foliar applications with zinc negatively affected the height, leaf cover, total yield and dry matter of the potato crop tuve.

Key words: Micronutrient, nutrición, zinc sulfate.

I INTRODUCCIÓN

La desnutrición debido a la falta de vitaminas y minerales, se puede manifestar como fatigas, reducción de la capacidad de aprendizaje o la inmunidad, esta última trae como consecuencia la predisposición a enfermedades. A nivel mundial, más de la tercera parte de la población, particularmente mujeres y niños de escasos recursos, sufren de deficiencia de micronutrientes. En el Perú a fines del siglo XX, uno de cada cuatro niños menores de cinco años se vio dañado por un déficit nutricional que los había marcado con una baja talla para su edad. Además, las zonas rurales son las más afectadas debido a los escasos recursos, la alimentación deficitaria y falta de servicios básicos.

El zinc es un micronutriente fundamental en la salud de los humanos, tiene una importante participación en el sistema inmunológico y cauterización de lesiones, debido a que está involucrado en la fragmentación y crecimiento celular (Amezcuca y Lara, 2017). Su carencia puede originarse por una ingesta insuficiente de alimentos con zinc o por una absorción deficiente. La mayor parte de los alimentos como la carne, el pescado y los productos lácteos son de origen animal y ricos en zinc (Organización Mundial de la Salud, 2011).

La biofortificación agronómica es una práctica que permite acumular nutrientes minerales en los cultivos mediante la aplicación de cantidades mayores a las requeridas por las plantas. Biofortificar los cultivos, es una forma de acceder a la mesa de las familias alimentos ricos en nutrientes (Ortiz, 2010). La biofortificación está siendo trabajada en cultivos de gran consumo en la población mundial, como son: el camote, arroz, trigo y papa. Este último, ha sido estudiada por varios investigadores, obteniendo resultados con respuestas positivas, como las realizados en los países vecinos del Ecuador (Kromann *et al.*, 2016), Bolivia (Gabriel *et al.*, 2014) y países europeos (White *et al.*, 2016).

La papa, es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo en términos de consumo humano, después del arroz y del trigo. El Perú cuenta con la mayor diversidad de papa en el mundo; su producción entre los años 2004 y 2013 mostró un crecimiento de 45% y el consumo de papa ha aumentado notablemente llegando a 87 kg/ per cápita el 2011.

Por lo expuesto, mediante aplicaciones foliares con sulfato de zinc la presente investigación propone contribuir con las investigaciones que buscan incrementar las concentraciones de zinc en los tubérculos de papa con los siguientes objetivos:

- Contribuir con los conocimientos sobre biofortificación agronómica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad UNICA a través de la fertilización foliar con zinc.
- Evaluar la respuesta de la fertilización foliar en el rendimiento y variables biométricas del cultivo de papa.
- Evaluar la concentración de zinc en cáscara y pulpa del tubérculo de papa.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación actual

Un niño que sufre desnutrición ve afectada su supervivencia, el buen funcionamiento y desarrollo de su cuerpo y de sus capacidades cognitivas e intelectuales. Una nutrición adecuada en cantidad y calidad es clave para el buen desarrollo físico e intelectual. La desnutrición es un concepto diferente de la malnutrición, esta última incluye tanto la falta como el exceso de alimentos. La desnutrición debido a la falta de vitaminas y minerales (micronutrientes) se puede manifestar de múltiples maneras. La fatiga, la reducción de la capacidad de aprendizaje o de inmunidad son solo algunas de ellas (Wisbaum, 2011).

Según Ortiz (2010), a nivel mundial existe una deficiencia de minerales y vitaminas en los alimentos ingeridos por los humanos y esto se agrava en la población que carece de medios económicos, en su mayoría niños y mujeres, representando así la tercera parte de la población que se ve afectada por esta deficiencia. Los seres humanos necesitan por lo menos 44 nutrientes en cantidades adecuadas para tener una vida saludable y productiva. Los nutrientes esenciales incluyen a las proteínas y aminoácidos, los lípidos y grasas, los macro minerales (Na, K, Ca, Mg, S, P, Cl) y los micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn, I, Fe, Se, Mo, Co, B) y las vitaminas (Ortiz, 2010).

Las grandes encuestas nutricionales, han identificado la magnitud y localización de los diferentes tipos de desnutrición, siendo la crónica la de mayor prevalencia. La desnutrición crónica es diagnosticada por una relación inadecuada de la talla por la edad de acuerdo a patrones ya establecidos (Pajuelo *et al.*, 2000). En el Perú a fines del siglo XX, el 25% de los niños menores de cinco años estaba dañado por un déficit nutricional que los había marcado con una baja talla para su edad (Segura *et al.*, 2002).

En nuestro país, la prevalencia de la desnutrición crónica infantil en menores de cinco años ha disminuido de 28.0%, en el 2007, a 13.1%, en el 2016 (figura 1). Y según la

residencia, para el año 2016, la mayor proporción de desnutrición crónica infantil en menores de cinco años se localiza en las áreas rurales, con un 26.5%, en tanto que en las urbanas es de 7.9% (MINSa, 2017).

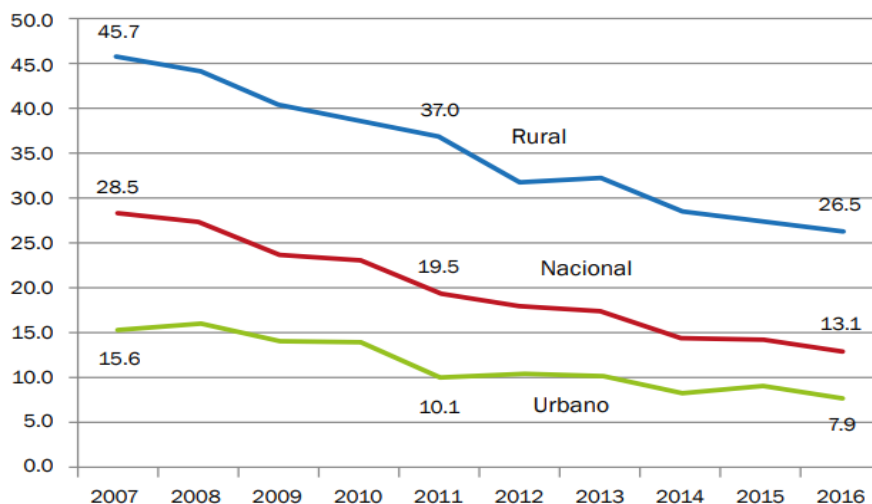


Figura 1: Tendencia en la prevalencia de desnutrición crónica infantil 2010-2017 a nivel mundial.

Fuente: MINSa (2017).

Así, los departamentos con mayor prevalencia de desnutrición crónica son Huancavelica (42,4%), Cajamarca (35,6%), Loreto (27,7%), Apurímac (29%), Ayacucho (29%), Amazonas (27,1%) y Ucayali (24,5%) (Flores *et al.*, 2015).

2.2 Zinc en los humanos

El zinc es un micronutriente fundamental en la salud de los seres humanos, participa en el sistema inmunológico, la cauterización de la heridas o lesiones, e interviene en la división celular (Amezcu y Lara, 2017). Según se ha comprobado, una carencia grave de este mineral puede inducir a retraso del crecimiento, alteraciones inmunitarias, afecciones cutáneas, problemas de aprendizaje y anorexia (Organización Mundial de la Salud, 2011).

Dicha carencia puede derivar de una ingesta insuficiente de alimentos con zinc o de su absorción deficiente. La mayor parte de los alimentos de origen animal como la carne, el pescado y los productos lácteos son fuentes ricas en zinc (Organización Mundial de la Salud, 2011). El consumo de estos u otros alimentos debe cubrir el requerimiento

normativo de zinc, que es de 1,4 mg día⁻¹ para los hombres adultos y 1,0 mg día⁻¹ para las mujeres adultas (Brown *et al.*, 2001).

2.3 Biofortificación

La biofortificación es la estrategia para incluir contenido de micronutrientes en las partes comestibles de los cultivos ya sea a través de fertilizaciones edáficas o foliares (Ortiz, 2010). Esta técnica en cultivos básicos, representa una alternativa para incrementar el contenido de nutrientes mediante técnicas de fertilización, mejoramiento genético y biotecnología (figura 2) (Sida y Sánchez, 2019).

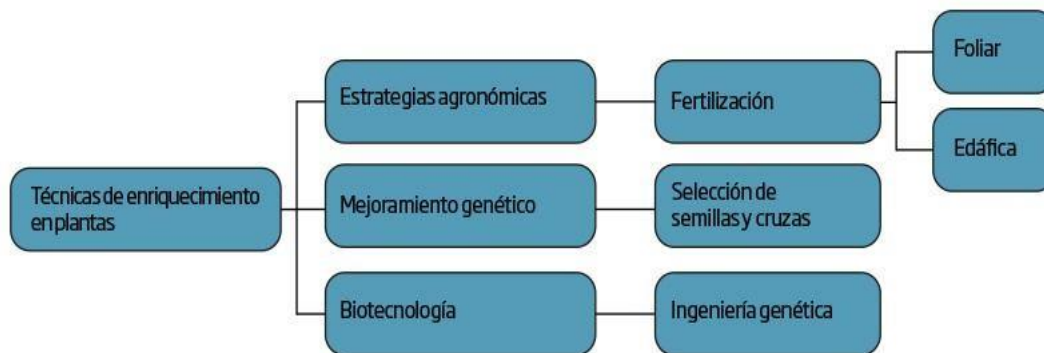


Figura 2: Tipos de biofortificación. Fuente: Sida & Sánchez (2019).

La biofortificación de los cultivos puede ser una estrategia efectiva para conseguir que grandes cantidades de personas con niveles deficientes de hierro, vitaminas y zinc consigan los niveles adecuados. La elección de los enfoques genéticos y/o agronómicos a la biofortificación dependerá de los micronutrientes. En los cultivos básicos, los enfoques genéticos son más eficaces para el hierro y la vitamina A, mientras que los enfoques agronómicos, incluyendo los fertilizantes, pueden aumentar los niveles de zinc, iodo y selenio en los alimentos (Bruulsema *et al.*, 2012). De esta manera, el acceso de familias que viven en áreas rurales a alimentos fortificados, será de especial utilidad en aquellas situaciones en las que dichas familias tienen un acceso limitado a los mercados y centros de salud, lugares donde se proporcionan los alimentos fortificados y suplementos nutricionales a través de programas sociales. La implementación de la

biofortificación reducirá el número de personas con deficiencia de micronutrientes que dependen de la suplementación y los programas de fortificación (Ortiz, 2010).

2.4 Biofortificación agronómica en el cultivo de papa

La biofortificación está siendo trabajada en cultivos de gran consumo en la población mundial, como son: camote, arroz, trigo y papa. En el cultivo de papa, Gabriel *et al.*, (2014) evaluaron el contenido de zinc en tubérculos en papas nativas bolivianas, encontraron rangos de 0.9 a 5.2 mg kg⁻¹ como los valores mínimos y máximos respectivamente.

Asimismo, se han empleado estrategias agronómicas como la fertilización foliar, con el objetivo de incrementar las concentraciones de zinc en el tubérculo de papa. En el experimento realizado por Kromann *et al.* (2016) en dos localidades de la provincia de Chimborazo en Ecuador, encontraron un aumento en las concentraciones de zinc (mg kg⁻¹ MS) en pulpa de papa cultivar INIAP – Natividad en ambas localidades, con aplicaciones foliares con zinc de 1.25, 2.5, 5, y 10 kg ha⁻¹. Consiguió un incremento de 2.5 veces mayor en la concentración de zinc en pulpa, en la localidad de Pusniag con aplicaciones foliares de zinc de 10 kg ha⁻¹.

Por otra parte, White *et al.* (2016) probaron los efectos de la aplicación de fertilizantes foliares con zinc en cuatro genotipos de papa. Los efectos de las fertilizaciones foliares sobre la concentración de zinc en los tubérculos de la planta ‘Saxon’ con 17 mg kg⁻¹ masa seca (MS) y ‘Golden Millennium’ con 18.7 mg kg⁻¹ MS tuvieron mayores concentraciones de zinc que ‘Vales Everest’ con 16.8 mg kg⁻¹ MS y ‘12601ab1’ con 14.8 mg kg⁻¹ MS cuando no se aplicaron fertilización foliar con zinc. Sin embargo, al aplicar zinc como óxido de zinc tuvo las siguientes concentraciones máximas de Zn 49.5 y 43.1 mg kg⁻¹ MS en tubérculos de planta ‘Saxon’, 35.2 y 35.9 mg kg⁻¹ MS en tubérculos de planta ‘Golden Millennium’, 28.9 y 29 mg kg⁻¹ MS en tubérculos de la planta ‘Vales Everest’ y 29.6 y 33.9 mg kg⁻¹ de MS en tubérculos de ‘12601ab1’ con los tratamientos D2X4 y D2X4 +U (D2= 3.6 g Zn parcela⁻¹ y U= urea). Se estaría hablando de un incremento en el contenido de zinc en el tubérculo de papa de 2.9, 1.9, 1.7, y 2.2 veces mayor en los genotipos ‘Saxon’, ‘Golden Millenium’, ‘Vales Everest’ y ‘12601ab1’, respectivamente.

En el trabajo de Gutiérrez (2018) respecto a la biofortificación mediante aplicación foliar y edáfico con sulfato de zinc heptahidratado en los tubérculos de papa, hubo respuesta a la aplicación foliar con zinc, los resultados muestran aumento en la concentración de zinc. En pulpa se llegó a 26.0 mg kg^{-1} y en cascara a 51.4 mg kg^{-1} , lo que indica un incremento de 47.7 % y 25.1%, respectivamente.

White *et al.* (2012), observaron que la relación de concentración de zinc en los tubérculos y la aplicación foliar de zinc, siguió una curva de saturación, alcanzando un valor máximo de aproximadamente 30 mg kg MS . Además, menciona la posibilidad de que la entrada restringida de zinc en las células de las hojas o la carga restringida del zinc en el floema del brote puedan ser responsables de la incapacidad de aumentar la concentración de zinc en el tubérculo. Asimismo, hace referencia a las aplicaciones foliares con zinc donde se logra incrementar las concentraciones de Zn en el tubérculo aproximadamente entre $25 - 30 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$, lo que suministra entre 9.5 – 11.5 % de la dieta diaria en Zn, requisito para adultos varones en una porción de 200 g materia fresca.

2.5 Cultivo de papa

Los cuatro cultivos de mayor volumen en producción a nivel mundial son el maíz, el arroz, el trigo y la papa. En el mundo se ha sembrado papa entre 18 y 19 millones de hectáreas, con una producción total de 360 a 370 millones de toneladas, con un rendimiento promedio global de 18 toneladas por hectárea (Egúsqüiza, 2014). En nuestro país, la producción de papa aumentó de 3 millones 8 mil de toneladas en el año 2004 hasta llegar a los 4 millones 571 mil de toneladas métricas en el 2013, lo que significó un crecimiento de 45 % y una tasa promedio anual de 3.8 % (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014). (Figura 3).

El Perú cuenta con una gran variedad de papa (*Solanum tuberosum*) a nivel mundial, al contar con ocho especies nativas domesticadas y 2 mil 301 de las más de 4 mil variedades que existen en Latinoamérica (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014). En el año 2013, el principal departamento productor de papa fue Puno, con 643 mil toneladas, seguido de Huánuco, Cusco, Junín y La Libertad que juntos aportan con el 55 % de la producción nacional (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014).

Por otra parte, en el país hay un incremento notable en el consumo de papa. En el año 2001 el promedio consumido per cápita fue de 54 kg y para el año 2011 el consumo fue de 87 kg/per cápita (Ministerio de Agricultura y Riego, 2011).

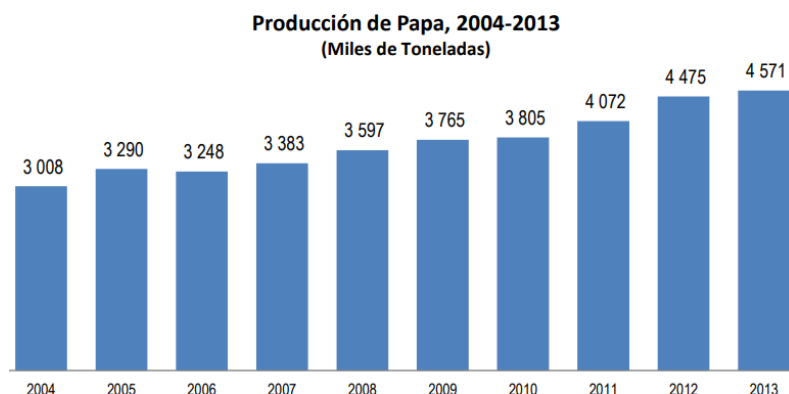


Figura 3: Producción de papa en el Perú. Fuente: MINAGRI, citado por INEI (2014).

2.5.1 Variedad UNICA

En general, la planta de la variedad UNICA es de porte mediano, follaje verde oscuro con tallos pigmentados y escasa floración. Produce tubérculos de tamaño uniforme, de forma oblonga o alargados (Eguzquiza, 2000) La piel del tubérculo es de color rosado y el período de dormancia de la semilla alcanza los 40 a 50 días, presenta ligera dominancia apical. Es una variedad que se caracteriza por ser precoz, tolerante al calor. Por estas características, en la costa son apropiadas para incorporarse a los sistemas de rotación que no permiten la siembra de variedades tradicionales que requieren períodos fríos para la tuberización (Eguzquiza, 2000). Se caracteriza por su alto rendimiento potencial (50 Mg ha^{-1}). Para el invierno en zonas de costa peruana (trópico bajo) y en épocas húmedas en la zona Sierra (trópico alto) se puede alcanzar el rendimiento potencial. En la primavera y en la época seca de las respectivas zonas se reduce el rendimiento. Comercialmente se pueden lograr rendimientos promedios de hasta 40 Mg. ha^{-1} (Gutiérrez *et al.*, 2007).

2.5.2 Aportes nutricionales

La papa es nutritiva, relativamente baja en calorías, prácticamente libre de grasas y colesterol, alto en vitamina C y potasio. Es una rica fuente de almidón, por lo que es una buena fuente de energía. Una porción de 100 gramos de papa fresca, presenta la composición promedio que se muestra en la tabla 1. Sin embargo, esta composición puede variar, ya que están controlados principalmente por factores ambientales (localidad, clima, suelo, agua), prácticas culturales y por la madurez de los tubérculos (Gabriel, 2010).

La distribución de zinc en las plantas se da en forma variada; según Subramanian *et al.*, (2011) en los tubérculos de papa aproximadamente el 17 % del zinc del tubérculo está presente en la piel. En pocas palabras, por esta distribución en semillas de cereales y tubérculo se reduce la ingesta potencial de zinc en la dieta de estos cultivos cuando se consumen granos y tubérculos pelados (White y Broadley, 2011).

Tabla 1: Composición promedio en una porción de 100 g de papa

Composición promedio en una porción de 100 gramos de papa			
Humedad		78.0 g	
Proteína		2.1 g	
Almidón		18.5 g	
Cenizas		1.0 g	
Grasas		0.1 g	
MINERALES		VITAMINAS	
Potasio	560.0 mg	B1(tiamina)	0.10 mg
Fósforo	50.0 mg	B2 (riboflavina)	0.04 mg
Calcio	9.0 mg	B6 (piridoxina)	0.25 mg
Sodio	7.0 mg	Vitamina C	20.0 mg
Fierro	0.8 mg	Niacina	1.5 mg

Fuente: Egúsqüiza (2014).

Un factor que reduce la disponibilidad de zinc en semillas, tubérculos y raíces, es el fitato. Como se observa en la tabla 2, la mayoría de los cereales y legumbres tiene un nivel intermedio de zinc, pero su elevado contenido de fitato reduce la cantidad de zinc disponible para la absorción. El arroz y almidón de raíces y tuberosas tienen el contenido de zinc bajos, sin embargo, la disponibilidad para su absorción puede ser mayor por el bajo contenido de fitatos (Brown *et al.*, 2001).

Tabla 2: Contenido de zinc y fitato de diferentes alimentos y cantidad estimada de zinc disponible para absorción

Grupo Alimenticio	Contenido de Zn		Contenido de Fitato		Zn absorbible mg 100 g ⁻¹
	mg 100g ⁻¹	mg 100 kcal ⁻¹	mg 100g ⁻¹	Fitato: Zinc Relación molar	
Hígado, riñón (carne de res, ave de corral)	4.2 - 6.1	2.7 - 3.8	0	0	2.1 - 3.1
Carne (vaca, cerdo)	2.9 - 4.7	1.1 - 2.8	0	0	1.4 - 2.4
Ave de corral (pollo, pato, etc)	1.8 - 3.0	0.6 - 1.4	0	0	0.9 - 1.5
Mariscos (Pescado, etc.)	0.5 - 5.2	0.3 - 1.7	0	0	0.2 - 2.6
Huevos (pollo, pato)	1.1 - 1.4	0.7 - 0.8	0	0	0.6 - 0.7
Lácteos (leche de vaca, queso)	0.4 - 3.1	0.3 - 1.0	0	0	0.2 - 1.6
Semillas, nueves (sésamo, calabaza, almendra)	2.9 - 7.8	0.5 - 1.4	1760 - 4710	22 - 88	0.3 - 0.8
Pan (harina blanca, levadura)	0.9	0.3	30	3	0.4
Cereal integral (trigo, maíz, arroz integral, etc.)	0.5 - 3.2	0.4 - 0.9	211 - 618	22 - 53	0.1 - 0.3
Frijoles, lentejas (soya, frijoles, garbanzos, etc)	1.0 - 2.0	0.9 - 1.2	110 - 617	19 - 56	0.1 - 0.2
Cereales refinados (harina blanca, arroz blanco, etc)	0.4 - 0.8	0.2 - 0.4	30 - 439	16 - 54	0.1
Raíz de yuca fermentada	0.7	0.2	70	10	0.2
Tubérculos	0.3 - 0.5	0.2 - 0.5	93 - 131	3-27	< 0.1 - 0.2
Vegetales	0.1 - 0.8	0.3 - 3.5	0 - 116	0 - 42	<0.1 - 0.4
Frutas	0 - 0.2	0 - 0.6	0 - 63	0 - ?	<0.1 - 0.2

Fuente: Brown *et al.* (2001)

2.5.3 Nutrición mineral

El cultivo de papa para su crecimiento y desarrollo requiere de macronutrientes (N, P, K), nutrientes secundarios (S, Ca, Mg) y micronutrientes (B, Mn, Zn, Fe, Cu, Na, Mn, Cl, Co, Si). De estas necesidades la mayoría de pequeños productores solo aplican fertilizante nitrogenado complementados con enmiendas orgánicas a diferencia del mediano y gran productor que aplica la mayoría de los elementos citados e incluso fitohormonas y vitaminas (Egúsquiza, 2014).

La necesidad de fertilizar el cultivo de papa obedece a una demanda de nutrientes minerales generada por el cultivo, debido a un bajo suministro de estos por el suelo. La papa como la mayoría de las especies vegetales demanda una gran cantidad de nutrientes, los cuales se encuentran en cantidades variables en los suelos, dependiendo del manejo histórico y de las características mineralógicas (Inostroza, 2009). Según Egúsquiza

(2014), las dosis necesarias de NPK para el cultivo de papa en la costa es de nitrógeno (120 a 240 kg N ha⁻¹), fósforo (120 a 200 kg P₂O₅ ha⁻¹) y potasio (80 a 150 kg K₂O ha⁻¹).

2.6 Zinc en la planta

El zinc es un micronutriente cuya forma principal de absorción es Zn⁺² y cuya concentración usual en las plantas sanas (% de peso seco) es de 15 a 100 ppm y su función principal es la de activador de ciertas enzimas (Raven *et al.*, 2015). Este micronutriente es tomado por la planta en forma reducida, razón por la cual el pH ácido favorece su disponibilidad.

Las plantas para un crecimiento y desarrollo adecuado requieren de una proporción muy baja de zinc: están entre los 15 y 20 miligramos por kilogramo de tejido seco (Amezcuca y Lara, 2017). El zinc interviene en el metabolismo vegetal, principalmente en el crecimiento activo de brotes, por ello es considerado como un elemento que está involucrado en la reorganización de procesos; actúa cuando la planta inicia un proceso diferente, por ejemplo, el inicio de la brotación (Soria, 2008). Además, el zinc influye sobre los procesos fotosintéticos, siendo un componente esencial de varios sistemas de enzimas para la producción de energía, la regulación y síntesis de proteínas, el mantenimiento de la integridad de la membrana de la raíz; así mismo, interviene en el crecimiento y la fisiología de la planta (Casierra-Posada y Poveda, 2005).

2.6.1 Deficiencia

La deficiencia de Zn es una de las deficiencias de micronutrientes más comunes y está siendo cada vez más significativa en la producción agrícola. En la mayoría de los suelos el contenido total de Zn excede por mucho a las necesidades, siendo la disponibilidad el factor limitante más importante. Sin embargo, algunos suelos ácidos altamente lixiviados, son muy pobres en Zn, con valores totales de 10 a 30 ppm (Mendel y Kirkby, 2000). La escasez de este micronutriente contribuye a la inhibición del metabolismo general de la mayoría de las plantas cultivadas, por lo que su importancia es innegable en el funcionamiento fisiológico de los vegetales (Soria, 2008).

Un bajo nivel de Zn total puede ser importante factor contribuyente, pero los factores de disponibilidad también juegan su papel. En la práctica se sabe que los altos niveles de fosfato disponible en el suelo reducen la disponibilidad de Zn (Mengel y Kirkby, 2000). Los síntomas de deficiencia de Zn en cultivos hortícolas dependen más de la especie que el caso de deficiencia de otros nutrientes vegetales. En la mayoría de los casos, sin embargo, la deficiencia de zinc se caracteriza por entrenudos cortos y zonas cloróticas en las hojas más viejas (Mengel y Kirkby, 2000).

2.6.2 Toxicidad y tolerancia

El zinc actúa como un nutriente vegetal, pero a concentraciones altas resulta tóxico para las plantas (Rout y Das, 2003). La mayoría de los cultivos requieren de concentración de zinc en las hojas superiores a $15 - 30 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$ para obtener el máximo rendimiento, su crecimiento se inhibe a concentraciones en la hoja superiores a $100 - 700 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$ (Fageria 2009; White y Brown, 2010 citado por White y Broadley (2011). Generando un desbalance metabólico generalizado en sus células (Amezcuca y Lara, 2017).

Este desbalance se puede dar en la superficie celular, al remplazar el ion tóxico por ejemplo con el calcio, o bien puede suceder que el ion ingrese dentro de la célula y reemplace otros iones que son normalmente cofactores de enzimas u otros componentes de organelos celulares (Espinoza, 2000). El exceso de zinc limita la fijación de CO_2 y el flujo de electrones desde el momento en que sucede la fotólisis de agua hasta cuando los electrones alcanzan el fotosistema II (Casierra – Posada y Poveda, 2005). La reducción en el peso seco acumulado por la planta puede ser consecuencia de la disminución del área foliar y de la inhibición de la fotosíntesis inducida por contenidos altos de zinc en el tejido vegetal (Casierra – Posada, *et al.* 2010).

Ante la posibilidad de estos desordenes fisiológicos todas las plantas han desarrollado una serie de respuestas para tolerar y por tanto sobrevivir hasta un cierto umbral de concentración de metales. La primera respuesta es un cambio hormonal por el cual se induce principalmente la síntesis de ácido abscísico (ABA) y de etileno, junto con ellos se da la alteración en los niveles de otros reguladores de crecimiento. Producto de estas hormonas vegetales se induce otras respuestas como son: la reducción del crecimiento caulinar, la senescencia foliar, la abscisión, el cierre de estomas, alteración en la

morfología foliar, el ajuste osmótico, las alteraciones en el patrón del crecimiento de las raíces, etc. (Espinoza, 2000).

White *et al* (2016), mencionan que al aumentar el número de aplicaciones de fertilizantes foliares con zinc redujo los rendimientos de tubérculos. Además, el rendimiento de los tubérculos disminuyó a medida que la concentración de zinc en el tubérculo aumenta. En otras palabras, no se puede excluir la posibilidad de toxicidad de zinc en diversos casos: sobre suelos muy ricos de forma natural, por deriva de minerales ricos en zinc, sobre suelos contaminados, o después de fertilizaciones con zinc de correcciones muy elevadas y frecuentes (Loué, 1988).

Así mismo, otro síntoma común de toxicidad después de la aplicación de fertilizantes foliares es el “quemado” o “chamuscado”, que puede ser la consecuencia de la ruptura celular debido a las grandes diferencias de presión osmótica a través de la pared celular cuando una solución de fertilizantes altamente concentrada se aplica a la superficie de la hoja (Greenway y Munns, 1980). Existen estudios que han dado lugar a quemaduras graves de las hojas que resultan en la muerte de gran parte o de la totalidad de las hojas, lo que reducen los rendimientos luego de los tratamientos de aplicación foliar (Fernández *et al.*, 2015). La propensión para las quemaduras salinas depende de la solubilidad; la concentración de fertilizante aplicado y de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, velocidad de viento) que influyen en la velocidad de evaporación y por lo tanto en la concentración de la pulverización foliar sobre la superficie de la hoja (Fernández *et al.*, 2015).

2.7 Zinc en el suelo

El contenido de los suelos en Zn total se sitúa entre 10 y 300 ppm. La intensidad de la adsorción de zinc tiende a aumentar con el crecimiento de pH, y la movilidad de Zn se encuentra claramente disminuida por encima del pH 7. La forma predominante por debajo de pH 7,7 es Zn^{2+} y por encima de este pH la forma neutra $Zn(OH)_2$ la que resulta dominante (Loué, 1988).

2.8 Fertilización foliar

La fertilización foliar no es una técnica nueva, el proceso de adhesión, penetración y conducción de los nutrientes aplicados a la hoja merece una comprensión adecuada para llevar una mejor conducción en el proceso y reconocer las causas de las posibles fallas si los hubiera (Murillo *et al.*, 2013).

La hoja es el órgano principal de absorción foliar de nutrimentos, allí radica la importancia de conocer su estructura. En la parte externa, la hoja presenta una cutícula (membrana lipoidal), que es un obstáculo para la absorción. Debajo de la cutícula se encuentra las células de la epidermis, cubiertas por una capa delgada de pectina. La absorción de los nutrimentos a través de la hoja es un proceso que incluye múltiples pasos e involucra la absorción superficial, penetración pasiva a través de la cutícula, y absorción activa por las células de las hojas debajo de la cutícula (Soria, 2008).

Para Murillo *et al.* (2013), el proceso de absorción de nutrientes a través de la hoja se puede resumir en tres etapas:

Etapa 1: Retención del nutriente en la hoja. El nutriente es aplicado por aspersión, en esta etapa se busca incrementar la probabilidad de absorción de las hojas, para esto se debe tener un mayor tiempo de contacto entre el nutriente y la superficie foliar, puede ser entre 3 a 4 horas. (Fageria *et al.*, 2009; citado por Murillo *et al.*, 2013). Otros factores a considerar son la humedad relativa, temperatura y el uso de tensoactivos.

Etapa 2: Conducción del nutriente a las células. En esta etapa el nutriente es llevado a través de las diversas estructuras de la hoja hasta llegar a las células de la epidermis.

Etapa 3: Circulación del nutriente hasta los órganos. En esta etapa se continúa con el movimiento de los nutrientes desde las células epidérmicas hasta las partes demandantes de nutrientes. Y estos movimientos se aceleran, cuando los nutrientes ingresan a los tejidos vasculares, especialmente al floema.

Respecto a la absorción de nutrimento, Trinidad y Aguilar (1999) mencionan que está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico en la hoja, y la valencia del ion

influye en este intercambio. Los iones monovalentes requieren de un H⁺ en el intercambio, mientras que los divalentes requieren de dos H⁺, por lo tanto, los primeros penetran con facilidad que los iones con mayor valencia.

La movilidad en el floema tiene un efecto muy importante sobre la capacidad de las plantas para absorber, trasladar y beneficiarse de los fertilizantes foliares y por lo tanto tiene un papel importante en la determinación de su eficacia (Fernández *et al.*, 2015). Las tablas 3 y 4 indican la movilidad y la velocidad de absorción de los nutrientes, que podría dar una idea de la facilidad con que penetran esos elementos en la hoja.

Tabla 3: Movilidad comparativa de diferentes nutrientes en la planta

Muy móvil	Móvil	Parcialmente móvil	Inmóvil
N	P	Zn	B
K	Cl	Cu	Ca
Na	S	Mn	Sr
Rb		Fe	Ba
		Mo	

Fuente: Fregoni (1986) citado por Trinidad y Aguilar (1999)

Tabla 4: Velocidad de absorción de diferentes nutrientes en la hoja de frijol

Elemento	Absorción después de				
	6 h	24 h	48 h	96 h	192 h
	%				
R	55	80	90	95	98
K	50	70	80	90	95
Na	48	65	70	80	90
Cl	31	40	50	60	80
Zn	31	50	60	65	70
Ca	7	28	35	50	70
S	7	22	30	45	60
P	5	15	25	35	50
Mn	11	20	22	30	40
Ba	6	21	30	40	65
Sr	2	10	18	30	34
Fe	3	6	8	12	15

Fuente: Fregoni (1986) citado por Trinidad y Aguilar (1999)

La principal vía de translocación de nutrimentos aplicados al follaje es el floema, el movimiento por el floema se inicia desde la hoja donde se absorben y sintetizan los compuestos orgánicos, hacia los lugares donde se utilizan o almacenan dichos compuestos. En consecuencia, las soluciones aplicadas al follaje no se moverán hacia las estructuras de la planta hasta tanto no se produzca movimiento de sustancias orgánicas producto de la fotosíntesis (Salas, 2002).

La respuesta de las plantas a la aplicación foliar de nutrientes varía no sólo entre especies y cultivares, sino que también depende de la fenología de la planta, del estado fisiológico y del medio ambiente donde crece la planta. Las características fisicoquímicas de los compuestos minerales específicos de la solución acuosa, tales como la solubilidad, el pH, punto de delicuescencia (POD) y peso molecular, tiene una influencia primaria en la tasa de absorción del elemento por la hoja (Fernández *et al*, 2015).

La eficiencia puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción. En cuanto a la eficiencia aparente de recuperación (EAR) este se ve afectado por el método de aplicación (cantidad, tiempo, forma) y factores que determinan el tamaño del sumidero de nutrientes del cultivo (genotipo, clima, densidad de planta, estrés abiótico, biótico) (Dobermann, 2007). En el trabajo de Hasang *et al.* (2018) en cultivo de maíz con aplicaciones y omisiones de fertilización edáfica con N, P, K, Mg, Zn, B la EAR en general fueron bastante bajos, lo cual fue consecuencia de la baja producción de materia seca en la parte vegetativa y reproductiva, así como también, por las elevadas cantidades de nutrientes aplicados.

III METODOLOGÍA

3.1 Características del campo experimental

3.1.1 Ubicación

La fase experimental se realizó en el fundo Don Germán del Instituto Regional de Desarrollo (IRD) Costa, ubicado en el km 144.5 de la Carretera Panamericana Sur del departamento de Lima, en la provincia de Cañete, distrito de Cañete, cuya ubicación geográfica es:

Latitud	13°04'36'' S
Longitud	76°23'04'' O
Altitud	38 m.s.n.m

3.1.2 Características climáticas

Tabla 5: Datos meteorológicos Junio – Setiembre 2018

Mes	T° Exterior promedio	Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)
Junio	17.06	70.21	0
Julio	16.82	68.66	0
Agosto	16.33	67.72	0
1 al 11 de Setiembre	16.57	67.61	0

Fuente: Estación meteorológica del fundo Don German (2018)

Las condiciones climáticas de lugar del experimento son de temperaturas entre 16 y 17 °C, con humedad relativa promedio de 69% y como es característico en la costa, sin presencia de precipitaciones. La papa variedad UNICA tiene la ventaja de su gran estabilidad en diferentes épocas de siembra y puede tuberizar a temperaturas nocturnas de hasta 16 °C (Gutiérrez *et al.*, 2007).

Dentro de los factores ambientales para las aplicaciones foliares de zinc, se tomó en cuenta la temperatura y humedad relativa.

Temperatura: la temperatura influye sobre la velocidad y tasa de difusión de sustancias lipofílicas e hidrofílicas al reducir la viscosidad de las moléculas en las capas o micelas. La temperatura óptima para la absorción foliar se encuentra entre 16 y 20 °C. Con temperaturas mayores a 30 °C la absorción es nula, debido al incremento en la transpiración de las hojas y la concentración de la solución aplicada aumenta por la rápida evaporación (García y García, citado por Alcantar 2009).

Humedad relativa: Una alta humedad relativa favorece la absorción de la solución, ya que demora el secado en la superficie de la hoja (Gooding y Davies, 1992), además, favorece la permeabilidad de la cutícula y disminuye el daño por quemaduras (Stevens et al 1988; citado por Alcantar 2009).

3.1.3 Características del suelo

Para conocer las propiedades físico-químicas del suelo en el área en estudio, se procedió al muestreo con la ayuda de una pala y en forma de zigzag, se tomaron 10 sub muestras de suelo a una profundidad de 20 cm de la capa arable (Universidad Nacional Agraria la Molina, s.f.).

Los resultados del análisis de suelo (anexo 8.11) indicaron que es un suelo franco arcillo arenoso, de reacción alcalina y C.E. 0.51 dS m⁻¹, considerado suelo ligeramente salino, la materia orgánica (0.75%) es baja y el contenido de zinc en el suelo, de 0.37 ppm es un valor bajo. Con relaciones catiónicas ideales de Ca/Mg con 3.9 y Mg/K con 4.7, suelo no sódico con PSI 3.75%. Con fósforo y potasio disponible en 11.4 ppm y 174 ppm respectivamente, ambos considerados de clasificación media.

3.1.4 Características del agua

Según el resultado del análisis de agua (anexo 8.12), tiene un pH de 7.47 el cual es considerado dentro de los valores normales, con conductividad eléctrica (C.E.) de 0.74 dS m⁻¹, el cual es apta para riego en la mayoría de los cultivos (Molina, 2002).

3.2 Materiales

3.2.1 Semilla

En el experimento se emplearon tubérculos – semilla de papa de la variedad UNICA.

3.3 Factores en estudio

En el presente trabajo de investigación se evaluaron los efectos de dos factores principales: dosis de fertilización (d) con 5 y 10 kg ha⁻¹ de zinc, fraccionamiento de aplicación (f) con 4 y 8 aplicaciones y un testigo (T) sin fertilizar con zinc (tabla 6).

Tabla 6: Dosis y Fraccionamiento de aplicación foliar de zinc

Tratamiento	Código	Dosis zinc (kg/ha)	Fraccionamiento
T1	T	0	0
T2	d5f4	5	4
T3	d5f8	5	8
T4	d10f4	10	4
T5	d10f8	10	8

3.4 Área de la parcela experimental

El área de la parcela experimental presento las siguientes características (tabla 7).

Tabla 7: Características de la parcela experimental

Características	Unidades
Tratamientos	5
Bloques	4
Unidades Experimentales	20
Distancia entre surco	1 m
Distancia entre planta	0.3 m
Longitud de surco	6 m
Ancho de calle	1 m
Área unidad experimental	30 m ²
Área experimental total	600 m ²
Área total	725 m ²

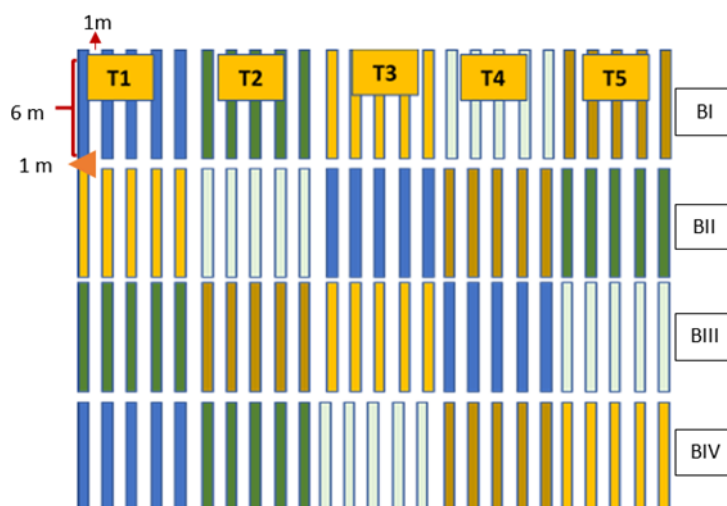


Figura 4: Croquis del campo experimental

3.5 Manejo agronómico del campo experimental

La preparación del terreno fue efectuada con maquinaria un mes antes de la siembra. Se realizó el riego, subsolado, gradeo, nivelado y surcado. El campo fue sembrado el 22 de mayo del 2018 (anexo 8.13). La siembra fue efectuada en surcos con distanciamiento de 1 m entre surcos y 0.3 m entre plantas. La densidad de siembra aproximada es de 33 333 plantas ha^{-1} . Los tubérculos semilla se seleccionaron, considerando semillas del mismo tamaño, así mismo, que estuvieran libre de pudriciones o presencia de daños mecánicos. Se sembró una semilla por golpe, llegando a usar 100 semillas por unidad experimental.

La fertilización se realizó en dos etapas. La primera en siembra con nitrato de amonio (100 kg ha^{-1}), fosfato diamónico (350 kg ha^{-1}), cloruro de potasio (200 kg ha^{-1}) y sulfato de potasio (50 kg ha^{-1}), a esta mezcla se añadió Furadan granulado (8 kg ha^{-1}) y estiércol de cuy (10 kg ha^{-1}).

La segunda fertilización se realizó junto con el aporque con nitrato de amonio (83 kg ha^{-1}), cloruro de potasio (200 kg ha^{-1}), sulfato de magnesio (50 kg ha^{-1}), nitrato de potasio (33 kg ha^{-1}) y estiércol de cuy (10 kg ha^{-1}). Se empleó 5 riegos por gravedad en toda la campaña.

La cantidad de fertilizante utilizado se resume en la siguiente tabla.

Tabla 8: Dosis de fertilizantes (kg ha⁻¹) empleados en el cultivo de papa.

	Nutriente				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
Primer aporte	96	161	145	9	0
Segundo aporte	31.68	0	133.86	6.5	8
TOTAL	127.68	161	278.86	15.5	8

El control de malezas fue con herbicidas aplicados a los 9 días después de la siembra. La principal plaga que presentó el cultivo de papa fue *Prodiplosis longifila* la cual se controló con azufre y aplicaciones químicas, la otra plaga fue la mosca minadora, la cual se controló con aplicaciones fitosanitarias, previa evaluación con manteos diarios. También se observó presencia de síntomas de virus de la papa.

La cosecha del experimento se realizó manualmente, el día 21 de setiembre del 2018, el cultivo de papa estuvo en campo aproximadamente 4 meses.

3.5.1 Aplicación de la fertilización foliar

Las aplicaciones foliares con zinc se iniciaron a los 42 días después de la siembra luego se trabajó según lo programado (anexo 8.13). Los tratamientos de 4 aplicaciones (T2 y T4) se realizaron cada 10 a 12 días y los de ocho aplicaciones (T3 y T5) cada 4 a 5 días. En el presente trabajo ninguna aplicación fitosanitaria coincidió con las fertilizaciones foliares con zinc.

Tabla 9: Características de la fertilización foliar en los tratamientos.

Tratamiento	Código	Zn (g 30 m ⁻²)	ZnSO ₄ (g aplicación ⁻¹)
T1	T	0	0
T2	d5f4	15	17.85
T3	d5f8	15	8.92
T4	d10f4	30	35.71
T5	d10f8	30	17.85

Las aplicaciones foliares se realizaron en forma manual, con mochila de capacidad de 20 litros. Para disolver el sulfato de zinc en cada aplicación foliar solo se utilizó agua de 3 a 3.5 litros por unidad experimental. Siendo el menor volumen en el inicio de las aplicaciones y el mayor volumen al finalizar.

3.6 Características evaluadas

3.6.1 Características biométricas

Estas evaluaciones se realizaron en las áreas de muestreo de cada unidad experimental a los 45 días después de la siembra. El área del muestreo consistió en los tres surcos centrales de los cinco existentes en cada unidad experimental. En los surcos centrales, se descontaron 0.5 m para ambos lados de las parcelas vecinas, para evitar el efecto borde.

A. Cobertura Foliar: La medición se realizó con un marco de 1 m², la cual se dividió con pabilo en cuadrículas más pequeñas de 0.0625 m². Se evaluó a los 63 días después de la siembra, se realizó 3 medidas, uno en cada surco del área de muestreo y se analizó con el promedio.

B. Altura de planta: Se marcó 10 plantas al azar y estas se evaluaron midiendo con una wincha desde el cuello de la planta hasta el ápice terminal, la primera evaluación se realizó a los 44 días después de la siembra y semanalmente las posteriores mediciones hasta no encontrar variación de altura. La última medición realizada fue a los 83 días después de la siembra. Se realizó un total de 6 mediciones.

C. Peso fresco y seco de las hojas: Dos semanas antes de la cosecha se pesó las hojas frescas de tres plantas tomadas al azar, de las muestras una porción se pesó y se reservó para determinar el peso seco en estufa a temperatura de 65⁰C.

D. Rendimiento total: La cosecha se realizó en forma manual. Con ayuda de una pala se extrajo los tubérculos de papa de los tres surcos centrales de cada unidad experimental, se pesó y los resultados se expresaron en kg ha⁻¹.

3.6.2 Análisis químico

Para el análisis de los tejidos vegetales se emplearon las metodologías seguidas por el LASPAF-UNALM. Las muestras de follaje de papa y de tubérculos se colectaron 30 días después de la última aplicación foliar con zinc, luego de la colecta fueron lavadas con agua destilada, para eliminar los residuos que podrían encontrarse adheridas en las hojas y cáscara del tubérculo.

Las hojas de la planta de papa se pesaron y llevaron a estufa. En las muestras de tubérculos se separó la cáscara de la pulpa. Para el caso de la pulpa, se realizaron cortes más finos y antes de llevar a estufa fueron secadas al aire por dos días. Posteriormente las muestras fueron secadas en estufa a 60°C por 48 horas aproximadamente, y finalmente se molieron.

Para la digestión se incineró las muestras en la mufla. Para esto se pesó 2.5 g del material seco y molido, cada muestra fue transferida a un crisol de porcelana. Las muestras se introdujeron en la mufla y se sometieron a 500 ° C por cinco horas. Finalmente, las muestras (cenizas) se transfirieron al matraz con 7 ml de la solución de HNO₃ (65% p/p) y HClO₄ (70%p/p), en proporción de 5:1, se digestó a una temperatura de 200 °C. La muestra resultante se disolvió en agua destilada, se procedió al filtrado y enrazado a 50 ml, finalmente se llevó a lectura.

A. Materia seca

Para obtener la materia seca, se calculó el porcentaje de materia seca a partir de los datos de las sub muestras llevadas a estufa.

$$\%materia\ seca = \frac{pms}{pmf} \times 100$$

Donde:

% materia seca = porcentaje de materia seca

pms = peso de la sub muestra seca

pmf= peso de la sub muestra fresca

B. Extracción de zinc

La extracción de zinc (g ha^{-1}) en el tubérculo de papa se calculó con la siguiente fórmula (Pisuña, 2015):

$$Ext\ Znt = \frac{mstxZnt}{1000000}$$

Donde:

Ext Znt= extracción de zinc en tubérculo de papa

mst = materia seca tubérculo (g planta^{-1})

Znt= zinc en el tubérculo (mg kg^{-1})

C. Aparente eficiencia de recuperación de nutriente

La aparente eficiencia de recuperación de nutriente (AER) se ha utilizado para reflejar la capacidad de la planta para adquirir el nutriente aplicado (Baligar *et al*, 2001). Esta variable se calculó según la siguiente ecuación en la que F es la planta que recibe fertilizante y C es la planta que no recibe fertilizante.

$$AER = \frac{(Absorción\ de\ nutriente\ F - Absorción\ de\ nutriente\ C)}{Cantidad\ de\ nutriente\ aplicado} \times 100\%$$

3.7 Diseño experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial de 2 x 2 (Dosis x Fraccionamiento de aplicación) y un testigo. Los factores fueron dos dosis de sulfato de zinc heptahidratado (5 y 10 kg ha^{-1}) por dos fraccionamientos de aplicación (4 y 8), con cuatro repeticiones por tratamiento.

Para la comparación de medias de dosis, fraccionamiento de aplicación y testigo (sin zinc) versus el resto (con zinc) se utilizó la prueba de Tukey al 5%.

El modelo aditivo lineal para el diseño estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha*\beta)_{ij} + \xi_k + e_{ijk} \quad i= 1,2 \quad j=1,2 \quad k=1, 2, 3,4$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable observada con el nivel i del factor dosis de zinc, nivel j del factor fracción de aplicación en el bloque k .

μ = Efecto de la media general

α_i = Efecto de la dosis de zinc i

β_j = Efecto de la fracción de aplicación j

$(\alpha*\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de la dosis de zinc i con el fraccionamiento de aplicación j

ϵ_k = Efecto del bloque k

E_{ijk} = efecto del error experimental con la dosis de zinc, fracción de aplicación j y bloque k

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 10 presenta el análisis de varianza para las variables altura de planta, rendimiento y cobertura en el cultivo de papa, bajo las condiciones de clima y manejo del presente trabajo de investigación.

Tabla 10: Análisis de varianza para altura de planta, rendimiento y cobertura de planta.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados Medios		
		Altura	Rendimiento	Cobertura
Tratamiento	4	25.27	45.4	151
Bloque	3	40.81	4.04	55.74
Dosis	1	9.3	46.17*	156.25
Fraccionamiento	1	0.3	2.1	201.64*
Dosis*Fraccionamiento	1	0.3	0.0012	34.22
Testigo vs Resto	1	91.16 *	133.33 *	211.9*
Error	12	7.14	2.03	36.46
CV %		5.33	5.97	10.7

Nota: * significativo. Resumen del anexo 8.1, 8.2, 8.3. Testigo (sin zinc). Resto (con zinc).

4.1 Cobertura foliar

La medida de la cobertura se realizó a los 63 días después de la siembra; cinco días después de haber realizado la tercera aplicación para los tratamientos fraccionados en 8 aplicaciones (f8) y la segunda para los tratamientos fraccionados en 4 aplicaciones (f4). Los resultados se observan en la figura 5, donde muestra que el mayor porcentaje de cobertura foliar era presentado por las plantas testigo (T) con 62.2%.

Dentro de los tratamientos aplicados con zinc, el que presentó mayor cobertura fue el tratamiento aplicado con dosis de 5 kg Zn ha⁻¹ fraccionado en 8 aplicaciones (d5f8) con 60 % y la menor cobertura fue para el tratamiento con dosis de 10 kg Zn ha⁻¹ fraccionado en 4 aplicaciones (d10f4) con 46.7 %. Similar resultado se observó en el trabajo de Casierra y Ulrichs (2010) sobre plantas de brócoli sometidas a 50, 100, 200 mg kg⁻¹ de

zinc aplicados al suelo en los que se presentó una reducción de 19.6, 34.1 y 39.8 % en el área foliar respectivamente en relación con las plantas a las cuales no se les adicionó zinc.

La cantidad de zinc en cada aplicación fue diferente para cada tratamiento (tabla 9), en el tratamiento que presentó menor cobertura (d10f4) se aplicó 35.71 g ZnSO₄ y el de mayor cobertura (d5f8) se aplicó 8.92 g ZnSO₄. Esto indica que al incrementar la dosis de zinc y reducir el número de fraccionamiento en las aplicaciones foliares afectan en forma inversa la cobertura foliar. La mayor cantidad de zinc aplicadas al follaje pueden haber llevado a un estrés o toxicidad (discutido en contenido de zinc aéreo) en la planta, causando cierta alteración en su crecimiento, debido al desbalance en la superficie celular al reemplazar el ion tóxico (zinc) por ejemplo, con el calcio, o bien puede suceder que el ion ingrese dentro de la célula y reemplace otros iones que son normalmente cofactores de enzimas u otros componentes de organelos celulares (Espinoza, 2000).

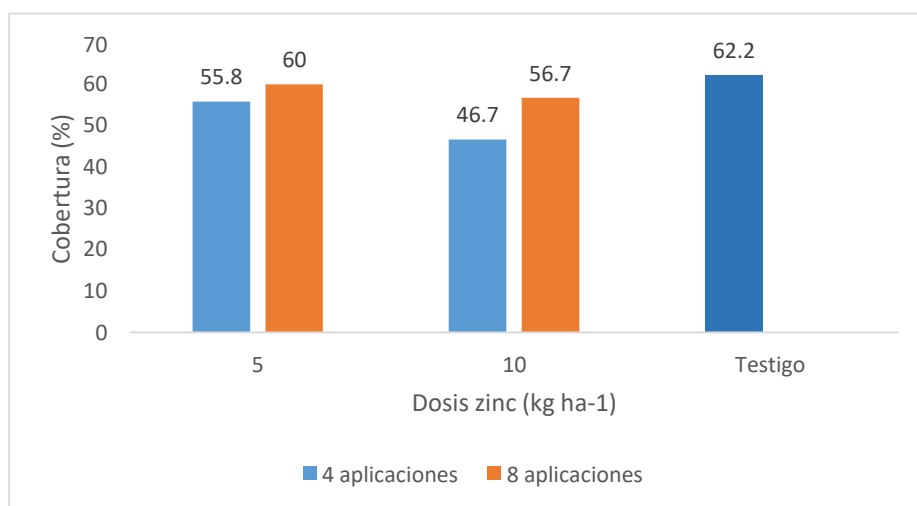


Figura 5: Efecto de la aplicación foliar con zinc (kg ha⁻¹) sobre la cobertura foliar (%)

Tabla 11: Resultado de altura de planta (cm), rendimiento (Mg ha⁻¹)

Dosis	Altura de planta			Rendimiento		
	Fraccionamiento		Promedio	Fraccionamiento		Promedio
	4	8		4	8	
5	50.1	49.6	49.8	23.9	24.7	24.3
10	48.3	48.3	48.3	20.5	21.2	20.9
Promedio	49.2	49.6	49.8 B	22.2	23.0	22.6 B
Testigo	56.1 A			29.0 A		

Nota: letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

4.2 Altura de planta

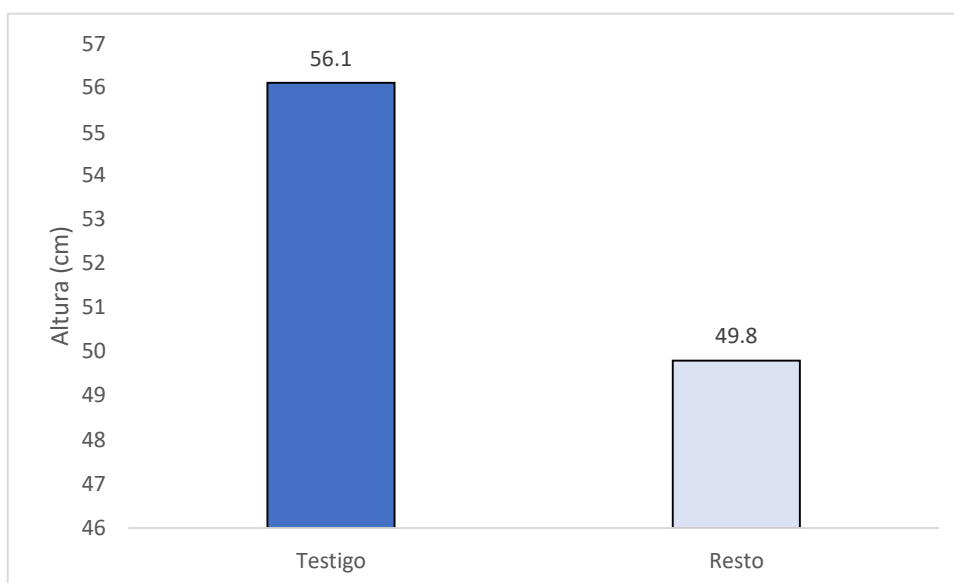


Figura 6: Efecto de la aplicación foliar con zinc (kg ha^{-1}) sobre la altura de planta a los 83 días después de la siembra.

El análisis de varianza (tabla 10) de la altura (cm) de plantas realizada a los 83 días después de la siembra. Después de cuatro días de la séptima aplicación foliar del tratamiento fraccionado ocho veces (f8) y cuarta aplicación del tratamiento fraccionado cuatro veces (f4), encontró diferencias estadísticas significativas cuando se comparó las medias entre el testigo (sin zinc) y el resto (con zinc). El promedio más alto fue para el testigo con 56.13 cm y el más bajo para el resto con 49.83 cm, con una diferencia de altura de 6.3 cm (tabla 11). Por el contrario, en los factores dosis, fraccionamiento de aplicación e interacciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Los valores encontrados muestran que la altura de la planta se vio afectada con las aplicaciones foliares de zinc como se observa en la figura 6. Dentro de los tratamientos aplicados con zinc la mayor altura fue de 0.51 metros con el tratamiento de 5 kg Zn ha^{-1} fraccionado en 4 aplicaciones (d5f4). Aparentemente las aplicaciones foliares con zinc causaron un efecto negativo en el desarrollo de la planta. Esto es claramente visible con la inhibición del crecimiento y disminución de biomasa (Rout y Das, 2003).

4.3 Rendimiento

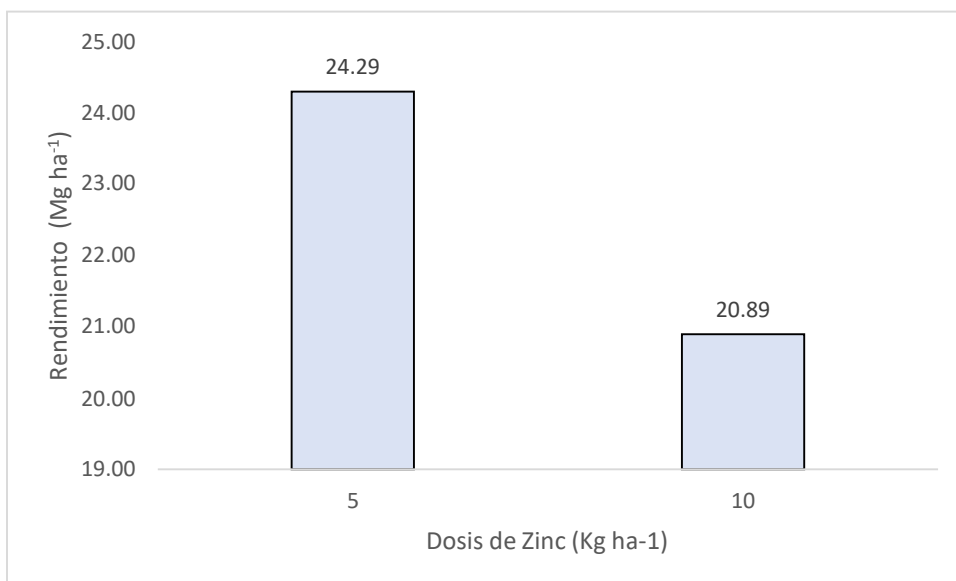


Figura 7: Efecto de la dosis de aplicación foliar con zinc (kg ha⁻¹) sobre el rendimiento (Mg ha⁻¹)

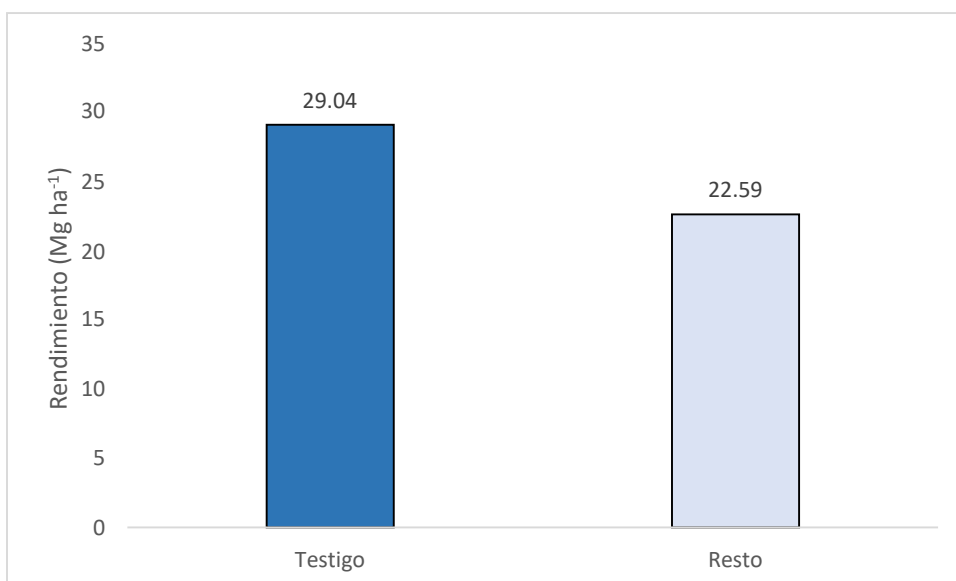


Figura 8: Efecto de la aplicación foliar con zinc (kg ha⁻¹) sobre el rendimiento (Mg ha⁻¹)

En los resultados obtenidos del análisis de varianza (tabla 10) de rendimiento de tubérculos (Mg ha⁻¹), se encontró diferencia estadística significativa para la variable dosis (d), y al comparar las medias del testigo (sin zinc) versus el resto (con zinc).

En dosis, el mayor valor fue para d5 (aplicaciones de Zn con 5 kg ha⁻¹) con 24.29 Mg ha⁻¹ y el menor para d10 (aplicaciones de Zn con 10 kg ha⁻¹) con 20.89 Mg ha⁻¹ con una diferencia de 3.4 Mg ha⁻¹. Al comparar las medias de los tratamientos aplicados con zinc (resto) versus testigo (sin zinc), el mayor valor lo presentó el testigo con 29.04 Mg ha⁻¹ y el menor valor el resto con 22.59 Mg ha⁻¹ con una diferencia de 6.45 Mg ha⁻¹(tabla 11). Sin embargo; en fracción de aplicación (f) e interacciones de los factores no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

Los valores encontrados muestran que al incrementar las dosis de aplicaciones foliares con zinc afectaron en forma inversa al rendimiento (figura 7 y 8). Es decir, que las dosis de zinc aplicadas afectaron el desarrollo del cultivo de papa. Como mencionan Amezcua y Lara (2017), el zinc es un nutriente indispensable para las plantas, está la requiere en pocas cantidades, y su uso excesivo le genera toxicidad, porque ocasiona un desbalance metabólico generalizado en sus células. En el presente experimento se observaron *quemaduras* en la epidermis de las hojas (anexo 8.14), el tratamiento con mayor daño fue para d10f8. Esto causo estrés y la disminución del área foliar activo para la fotosíntesis y como consecuencia la disminución del rendimiento. También la humedad relativa es otro factor a considerar ya que influye en el secado de la solución aplicado al follaje(Fernández *et al.*, 2015).

En el trabajo de Gutiérrez (2018), en la misma variedad de papa encontró una ligera tendencia en los tratamientos que recibieron fertilización foliar con zinc a reducir su rendimiento, en contraste con las evaluaciones no fertilizadas foliarmente. Similar resultado menciona Delgado (2015), en suelos de costa en dos variedades de papa, donde el rendimiento con las aplicaciones foliares con zinc fue menor que el testigo y los otros tratamientos, la mayor producción se obtuvo en el tratamiento de 50 kg ha⁻¹ ZnSO₄+ foliar.

En suelos y condiciones climáticas de costa hay una mejor respuesta al rendimiento, cuando las aplicaciones de zinc se realizan al nivel de suelo y foliar. Se trabajó en suelo ligeramente alcalino y con contenido de zinc de 0.37 ppm (anexo 8.11), se esperaba una limitada disponibilidad de zinc en el suelo. Y, solo con aplicaciones foliares de zinc no se lograron obtener las mismas respuestas que en el ensayo de Kromann *et al* (2016) donde el cultivo de papa cultivar INIAP – Natividad en dos sitios (Pusniag y Cortijo bajo)

del Ecuador con pH de 6.08 – 6.27 y contenido de zinc en suelo de 1.30 – 2.15 mg kg⁻¹, respectivamente, obtuvieron un aumento significativo en el rendimiento del tubérculo de papa en Pusniag y tendencia a disminuir el rendimiento en Cortijo Bajo. Existen muchos factores ya mencionados que pudieron influir en las respuestas de los ensayos mencionados, como: la humedad relativa, pH, viento, fertilizante y variedad del cultivo.

Así mismo, White *et al.* (2016) mencionan que el aumento del número de aplicaciones de fertilizantes foliares con zinc redujo los rendimientos de tubérculos cuando se aplicó un exceso de fertilizantes foliares con zinc. Sin embargo, en la tabla 10 se observa una tendencia a incrementar el rendimiento al fraccionar las aplicaciones foliares en ambas dosis de zinc.

La tabla 12, presenta el análisis de varianza para las variables altura de planta, rendimiento y cobertura en el cultivo de papa, bajo las condiciones de clima y manejo del presente trabajo de investigación.

Tabla 12: Análisis de varianza para materia seca en: hoja, cáscara y pulpa del tubérculo de papa.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados Medios		
		MSH	MSC	MSP
Tratamiento	4	55.83	0.45	1163.56
Bloque	3	63.02	0.38	1767.58
Dosis	1	70.51	0.14	647.42
Fraccionamiento	1	14.08	0.000004	0.08
Dosis*Fraccionamiento	1	83.13	1.06	3420.1*
Testigo vs Resto	1	55.58	0.59	586.64
Error	12	199.49	0.47	612.45
CV %		27.99	17.67	14.13

Nota: * significativo. Resumen del anexo 8.4, 8.5, 8.6.

4.4 Masa seca en pulpa (MSP)

Los resultados obtenidos del análisis de varianza (tabla 12) en MSP del tubérculo de papa (g planta⁻¹), encontraron diferencias estadísticas significativas para las interacciones de dosis versus fraccionamiento de aplicación. El valor más alto fue para el tratamiento d5f8 con 193.45 g planta⁻¹ y el valor más bajo para d10f8 con 151.49 g planta⁻¹, con una diferencia de 41.96 g planta⁻¹ entre el mayor y menor valor (tabla 13). Sin embargo, para

dosis, fracción de aplicación y testigo (sin zinc) versus el resto (con zinc), no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

Tabla 13: Resultado de masa seca en pulpa, cáscara y hoja (g planta).

Dosis	MSP			MSC			MSH		
	Fraccionamiento		Prom	Fraccionamiento		Prom.	Fraccionamiento		Prom
	4	8		4	8		4	8	
5	164.1	193.5	178.8	3.8	4.3	4.1	50.4	53.1	51.7
10	180.6	151.5	166.0	4.1	3.6	3.9	50.8	44.3	47.5
Promedio	172.3	172.5	172.5	3.9	3.9	4.0	50.6	48.7	49.6
Testigo	185.9			3.5			58.8		

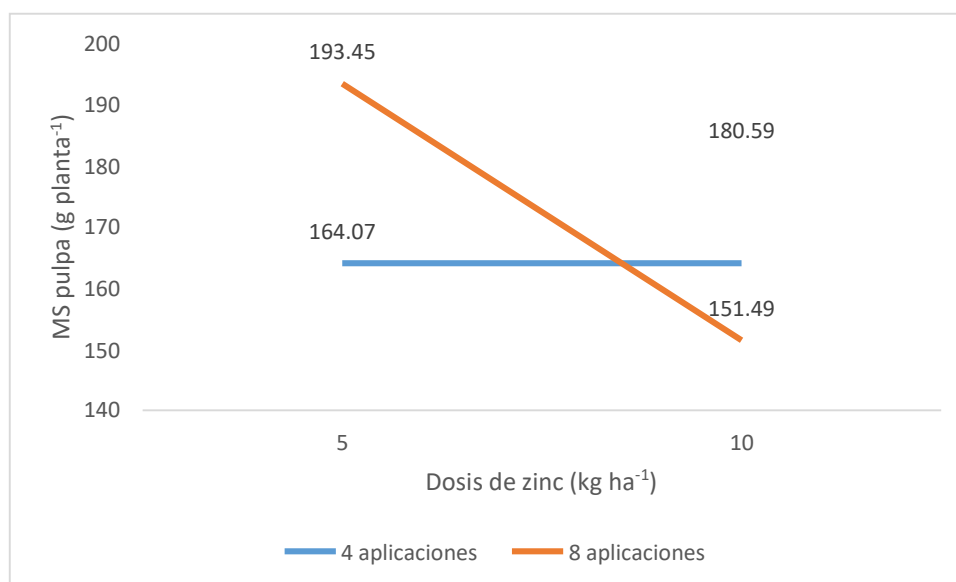


Figura 9: Interacción dosis*fraccionamiento de aplicación en MSP en tubérculo de papa (g planta⁻¹)

En la figura 9, se observa que cuando se incrementa la dosis en las aplicaciones foliares con zinc y estas son efectuadas en cuatro fraccionamientos hay un ligero incremento en el contenido de materia seca en pulpa (MSP). Sin embargo, hay una tendencia a disminuir la MSP (anexo 8.5) al incrementar las dosis de zinc, aplicadas en ocho fracciones. La reducción en la producción de materia seca acumulada por planta es el resultado frecuentemente reportado cuando las plantas se exponen a exceso de zinc (Casierra y Ulrichas, 2010). En el presente trabajo la disminución de la masa seca en pulpa no solo

se vio afectado por la alta dosis de zinc, también, las constantes aplicaciones foliares de las mismas pudieron haber causado cierto estrés en las plantas, afectando el área foliar y la fotosíntesis.

En el trabajo de Casierra–Posada y Poveda (2005), en cultivo de fresa expuesto a exceso de Zn y Mn, menciona que el zinc limita la fijación de CO₂ y el flujo de electrones desde el momento en que sucede la fotólisis de agua hasta cuando los electrones alcanzan el fotosistema II. Con base en estos argumentos y reducción del área foliar y la disminución en la producción total de materia seca por planta en las tratadas con exceso de zinc, sería consecuencia de la irregularidad en el funcionamiento del aparato fotosintético por exceso de este metal.

4.5 Materia seca en cáscara (MSC)

Los resultados obtenidos de análisis de varianza (tabla 12) en masa seca en cáscara (g planta⁻¹) muestran que no hay diferencia estadística significativa para dosis, fracción de aplicación, interacciones y comparación de promedios de testigo (sin aplicaciones foliares con Zn) versus el resto (con Zinc). Sin embargo, hay una ligera tendencia a disminuir el contenido de MSC cuando se incrementa las dosis de zinc (tabla 13).

4.6 Materia seca de hojas (MSH)

Los resultados obtenidos de análisis de varianza (tabla 12) en materia seca de hojas (g planta⁻¹) muestran que no hay diferencia estadística significativa para dosis, fraccionamiento de aplicación, interacciones y comparación de promedios de testigo (sin aplicaciones foliares con zinc) versus el resto (con aplicaciones foliares con zinc). Sin embargo, hay una ligera tendencia a reducir la MSH al incrementar dosis de zinc y número de aplicaciones (tabla 13). White *et al.* (2012), obtuvieron resultados similares en los que encontraron una tendencia a disminuir la biomasa de los brotes en cultivo de papa con el aumento de la aplicación foliar con zinc.

La tabla 14 presenta el análisis de varianza para las variables contenido de zinc en hoja, pulpa y cáscara del tubérculo de papa, bajo las condiciones de clima y manejo del presente trabajo de investigación.

Tabla 14: Análisis de varianza para contenido de zinc en hoja, pulpa y cáscara del tubérculo de papa.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados Medios		
		Zn hoja	Zn pulpa	Zn Cáscara
Tratamiento	4	248826.82	47.15	414.29
Bloque	3	254.79	2.81	246.94
Dosis	1	313.29	0.2	67.24
Fraccionamiento	1	967.21	9.3	27.04
Dosis*Fraccionamiento	1	338.56	0.9	605.16
Testigo vs Resto	1	993688.2*	178.20*	957.73*
Error	12	274.4	2.87	155.07
CV %		3.11	9.12	37.29

Nota: * significativo. Resumen del anexo 8.7, 8.8, 8.9.

Tabla 15: Resultado de concentración de zinc en pulpa, cáscara y hojas (mg kg⁻¹).

Dosis	Zn Pulpa			Zn Cáscara			Zn Aéreo		
	Fraccionamiento		Prom	Fraccionamiento		Prom	Fraccionamiento		Prom
	4	8		4	8		4	8	
5	18.9	21.0	20.0	39.7	30.0	34.8	643.4	637.1	640.2
10	19.6	20.7	20.2	31.5	46.4	38.9	661.5	636.7	649.1
Promedio	19.3	20.8	20.1 A	35.6	38.9	36.9 A	652.4	636.9	644.7 A
Testigo	12.6B			19.6 B			87.4 B		

Nota: Letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05).

4.7 Concentración de Zn en Pulpa, cáscara y hojas

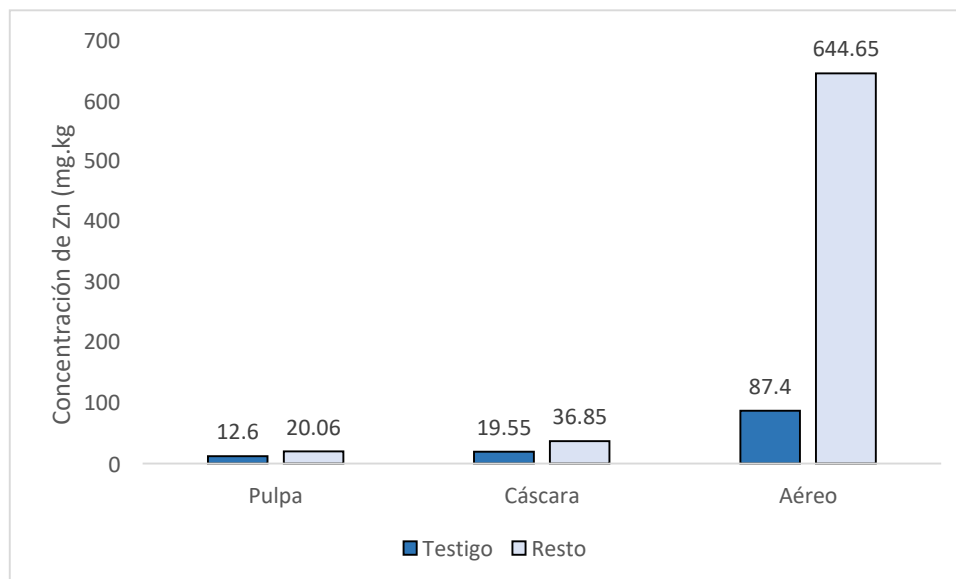


Figura 10: Efecto de aplicación foliar con zinc (kg ha⁻¹) sobre la concentración de zinc en cáscara, pulpa y hojas (mg kg⁻¹)

4.8 Concentración de Zn en Pulpa

En los resultados del análisis de varianza (tabla 14) en concentración de zinc en pulpa del tubérculo de papa, se encontró diferencia estadística significativa para el promedio de los tratamientos aplicados con zinc (resto) versus el testigo (sin zinc). El valor más alto para la concentración de zinc en pulpa fue para el resto (tratamientos con zinc) con 20.1 mg kg⁻¹ MS y el menor valor para el testigo (sin zinc) con 12.6 mg kg⁻¹ MS, con un incremento del 59.20%. Sin embargo, en dosis, fracción de aplicación e interacciones no se encontraron diferencias significativas.

En el presente experimento el contenido de zinc en pulpa del tubérculo de papa se incrementó en 1.6 veces, ligeramente mayor a lo encontrado por Gutiérrez (2018) con 1.5 veces y menor a lo encontrado por Kromann *et al.* (2016) con 2.5 veces. Es evidente que, con las aplicaciones foliares con zinc puede lograrse incrementar el contenido de zinc en la pulpa del tubérculo de papa (figura 10). Esto debido a que la principal vía de translocación de los nutrientes aplicados vía foliar es el floema y el movimiento se inicia

desde la hoja donde se absorben y sintetizan los compuestos orgánicos, hacia lugares donde se utilizan o almacenan dichos compuestos (Salas, 2002).

Al incrementar dosis de zinc o fraccionamiento en las aplicaciones, no mostraron diferencias significativas en la concentración de zinc en pulpa. Esta restricción pudo darse debido a que, la movilización de nutrimentos como el zinc tienen una movilidad variable en el floema (Salas, 2002), o por la alta capacidad de unión del zinc a los tejidos de las hojas (Fernández *et al.* 2015).

También, White *et al.* (2012), mencionan un valor máximo de saturación y por debajo de este valor las concentraciones de zinc en el tubérculo fueron mayores en aquellos que habían recibido múltiples aplicaciones foliares, mencionan que puede deberse a la sincronización o al tipo de fertilizante aplicado. En la tabla 15 se logra visualizar que, ambas dosis fraccionadas en ocho veces obtuvieron mayor concentración de zinc en la pulpa del tubérculo de papa que las fraccionadas cuatro veces. Aunque no es significativo, hay una tendencia a movilizar más el zinc cuando es aplicado varias veces. Este grado de movilidad del zinc fue observado por Fernández *et al.* (2015), en hojas senescentes de trigo, y su transporte eficaz hacia el grano sugiere que las plantas tienen una capacidad inherente para el transporte de zinc y que las limitaciones a la movilidad son probablemente de naturaleza física y no biológica.

4.9 Concentración de zinc en cáscara

Los resultados obtenidos del análisis de varianza (tabla 14) en la concentración de zinc en cáscara de tubérculo de papa, muestran que hay diferencias estadísticas significativas para promedio de los tratamientos aplicados con zinc (resto) versus testigo (sin zinc). El promedio más alto fue para el resto (con zinc) con 36.85 mg kg⁻¹ MS y el menor valor para testigo (sin zinc) con 19.55 mg kg⁻¹ MS con una diferencia de 17.3 mg kg⁻¹ MS, siendo un incremento de 88.49%. No obstante, en dosis, fracción de aplicación e interacciones no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

Los valores encontrados muestran (figura 10) que la concentración de zinc en cáscara se puede aumentar con las aplicaciones foliares con zinc. Similar respuesta visualizó Pisuña (2015), donde observó que el contenido de zinc en todos los órganos de la planta, tuvo

una respuesta lineal positiva llegando a obtener zinc en pulpa un promedio de 15.2 mg kg⁻¹, en cáscara 28.9 mg kg⁻¹, y en follaje 163.85 mg kg⁻¹ con aplicaciones foliares de 10 kg de zinc por hectárea.

Por otro lado, se observa en la figura 10, que la concentración de zinc en la cáscara es mayor que la concentración de zinc en pulpa. Según Subramanian *et al*, (2011), tres minerales de importancia dietética, como son el hierro, calcio y zinc, tienen concentraciones marcadamente más altas en la cáscara del tubérculo de papa. Porejemplo, la cáscara del tubérculo de papa contenía el 17% del total de zinc en el tubérculo. Aunque, el contenido de masa seca aportante es menor a la de la pulpa del tubérculo de papa, el aporte del zinc es considerable. En pocas palabras, la reducción de la ingesta potencial de zinc en la dieta de este cultivo se dará cuando por ejemplo se consume los tubérculos pelados (White y Broadley, 2011).

4.10 Concentración de zinc en hojas

Los resultados del análisis de varianza (tabla 14) en la concentración de zinc en las hojas de la planta, encontraron diferencias estadísticas significativas para promedio de tratamientos aplicados con zinc (resto) versus el testigo (sin zinc). El promedio más alto fue para el resto (con zinc) con 644.7 mg kg⁻¹ MS y el menor para el testigo (sin zinc) con 87.4 mg kg⁻¹ MS con una diferencia de 557.3 mg kg⁻¹ MS. Sin embargo; para dosis, fracción de aplicación e interacción no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

La aplicación foliar con zinc en el cultivo de papa, mostró una distribución desigual en las diferentes partes de la planta (figura 10), mostrándose una alta concentración de zinc en la parte aérea (hojas). En la tabla 15 en los tratamientos aplicados con zinc se observaron valores entre 636.7 mg kg⁻¹ MS y 661.45 mg kg⁻¹ MS. No se descarta que estas concentraciones reportadas, puedan incluir zinc depositado en el follaje que habían quedado en la cutícula de la planta a pesar del enjuague cuidadoso antes de su análisis (Kromann *et al.*, 2016).

Para Fageria, 2009; White y Brown, 2010 citado por White y Broadley, (2011) la mayoría de los cultivos, requieren de una concentración de zinc en las hojas entre 15 – 30 mg kg⁻¹

¹ de MS para obtener el máximo rendimiento, su crecimiento se inhibe a concentraciones en la hoja superiores entre 100 – 700 mg kg⁻¹ MS. El promedio de Zn encontrado en la presente investigación fue de 644.7 mg kg⁻¹ MS concentración que afectó el rendimiento, materia seca, altura (puntos ya discutidos) y teniendo en cuenta a Greenway y Munns (1980), donde mencionan que un síntoma común de toxicidad después de la aplicación de fertilizantes foliares es el *quemado* o *chamuscado*. El cual se observó en hojas y tallos de las plantas en todos los tratamientos aplicados con zinc (ver anexo 8.14).

Sin embargo, los mayores daños se observaron en los tratamientos que recibieron ocho aplicaciones foliares con zinc. Posiblemente, como menciona Loué (1988), no se puede excluir la posibilidad de toxicidad de zinc después de fertilizaciones con zinc en concentraciones muy elevadas y aplicaciones frecuentes.

Otro factor a considerar en las aplicaciones foliares es la humedad relativa (HR) del medio ambiente. En la tabla 5 se observa que se trabajó con una (HR) promedio de 69%, el cual pudo influir en la absorción de la solución (Gooding y Davis, 1992), además de la permeabilidad de la cutícula, y los posibles daños por quemaduras (Stevens et al, 1988; citado por Alcantar 2009). También, el pH y la Conductividad eléctrica de la solución, los cuales no fueron evaluados antes de las aplicaciones foliares, son factores a considerar ya que, es posible que la sal pura disuelta en agua alterará el pH de la solución, pudiendo tener valores extremos de pH, influyendo por lo tanto al proceso de absorción por el follaje (Fernández *et al.*2015).

La tabla 16 presenta el análisis de varianza para las variables extracción de zinc en tubérculo de papa, bajo las condiciones de clima y manejo del presente trabajo de investigación.

Tabla 16: Análisis de varianza para extracción de zinc en tubérculo de papa.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados Medios Extracción Zn Tub
Tratamiento	4	1889.34 *
Bloque	3	229.98
Dosis	1	200.15
Fraccionamiento	1	286.22
Dosis*Fraccionamiento	1	1774.05 *
Testigo vs Resto	1	5296.92 *
Error	12	295.85
CV %		15.39

Nota: * significativo. Resumen del anexo 8.10.

4.11 Extracción de zinc en el tubérculo de papa

Tabla 17: Extracción de zinc en tubérculos de cultivo de papa (g ha⁻¹).

Dosis	Ex_Zn_Tubérculo Fraccionamiento		Promedio
	4	8	
5	108.7	137.3	123.0
10	122.7	111.2	116.9
Promedio	115.7	124.3	120.0 A
Testigo	79.2 B		

Nota: letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

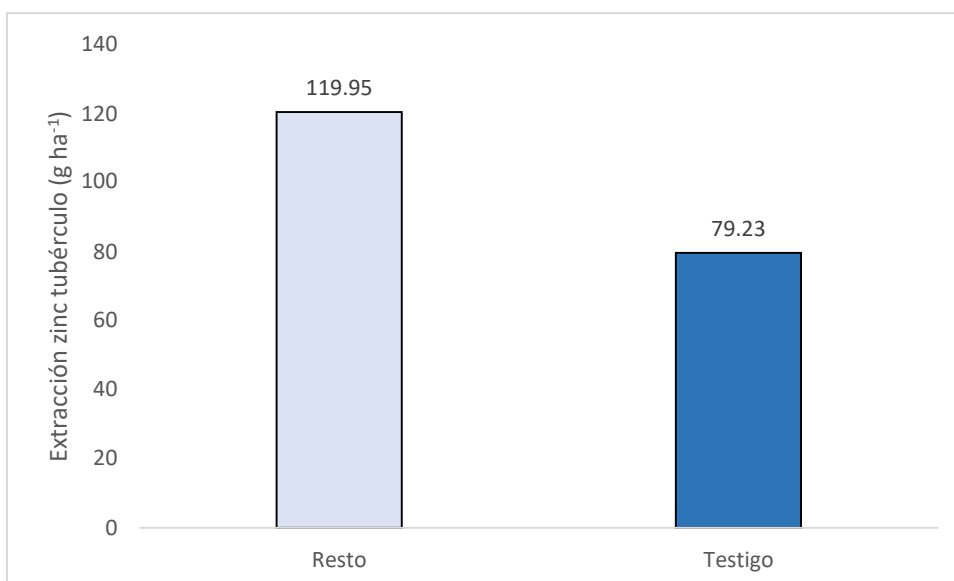


Figura 11: Efecto de la aplicación foliar con Zn en la extracción de Zn en el tubérculo de papa (g ha⁻¹)

Los resultados obtenidos del análisis de varianza (tabla 16) para extracción de zinc en el tubérculo de papa (g ha^{-1}) muestran diferencias estadísticas significativas para la interacción dosis con fracción de aplicación, y comparación de testigo (sin zinc) versus el resto (con zinc). El promedio más alto fue para el resto (con zinc) con 119.95 g ha^{-1} y el menor valor para el testigo (sin zinc) con 79.23 g ha^{-1} , con una diferencia de 40.48 g ha^{-1} (figura 11). No obstante para dosis y fraccionamiento de aplicación no se encontraron diferencias significativas.

Con las aplicaciones foliares se obtiene mayores extracciones de zinc, incluso mayores que las edáficas (Gutiérrez, 2018) y dentro de las mismas la variación puede darse entre variedades de un cultivo (Delgado, 2015).

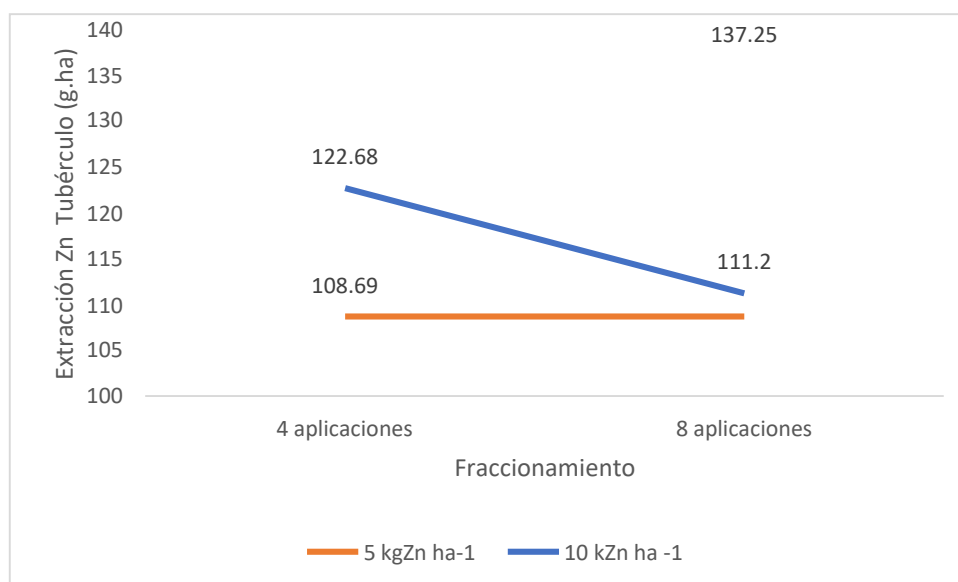


Figura 12: Interacción de fraccionamiento* dosis en la extracción de Zn en tubérculos de papa (g ha^{-1})

En la figura 12 se observa la respuesta de la interacción: dosis y fracción de aplicación en la extracción de zinc en el tubérculo de papa (g ha^{-1}). Los valores encontrados muestran una ligera tendencia a disminuir la extracción de Zn en el tubérculo de papa al incrementar la fracción de aplicación con dosis de 10 kg Zn ha^{-1} . Sin embargo; hay un incremento significativo en la extracción de Zn (anexo 8.10) al incrementar el fraccionamiento de aplicación con dosis de 5 kg Zn ha^{-1} , siendo el tratamiento d5f8 el de mayor extracción con 137.25 g ha^{-1} y el menor d5f5 con 108.69 g ha^{-1} .

Esto posiblemente por el bajo contenido de materia seca (ver tabla 17) el cual se vio afectado por la dosis y constantes aplicaciones foliares con zinc.

4.12 Aparente eficiencia de recuperación de nutriente (AER)

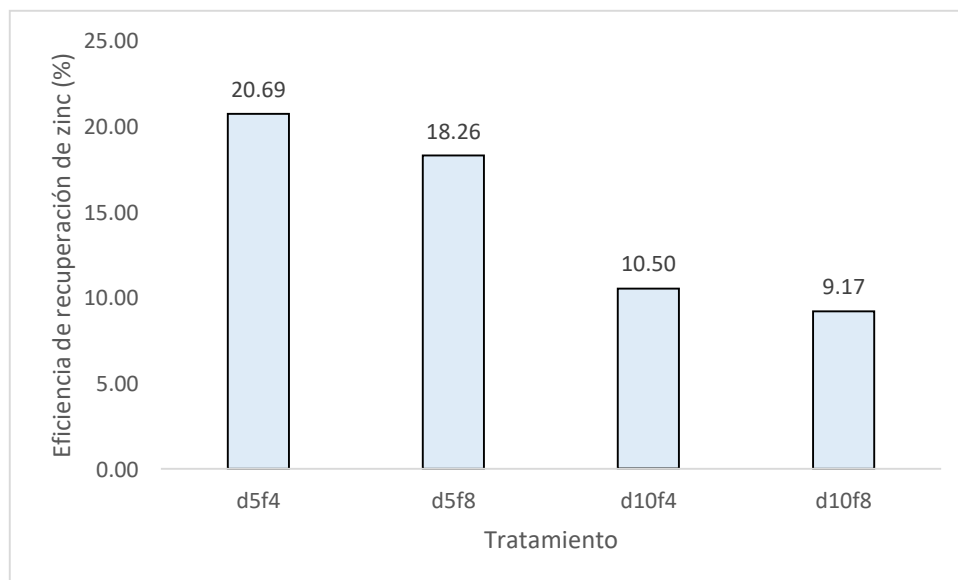


Figura 13: Efecto de los tratamientos sobre la aparente eficiencia de recuperación de nutrientes (%)

La aparente eficiencia de recuperación (AER) de zinc en general disminuye con el incremento de las dosis aplicadas con zinc, y de igual manera se ve afectado al incrementar el fraccionamiento de aplicación. La mayor eficiencia de recuperación es para el tratamiento d5f4 con 20.69% y la menor es para d10f8 con 9.17 % (figura 13).

Hasang (2018), menciona que la baja EAR se debe a la baja producción de materia seca. También, a las elevadas cantidades de nutrientes aplicadas. El orden de la AER en el experimento es $d5f4 > d5f8 > d10f4 > d10f8$ el cual corrobora lo anteriormente mencionado (ver tabla 11). Donde se obtuvo baja producción de masa seca en pulpa, cáscara y parte aérea en el tratamiento con mayor dosis y mayores aplicaciones foliares con zinc.

La AER se ve afectado por el método de aplicación y factores que determinan el sumidero de nutrientes del cultivo (genotipo, clima, densidad de planta, estrés abiótico / biótico) (Dobermann, 2007). En el presente experimento se observó la presencia de virus de la papa en el cultivo, el cual pudo ser causante en cierto grado de estrés y afectar también la AER.

V CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que es posible incrementar el contenido de zinc en el tubérculo de papa con aplicaciones foliares con zinc.

Las aplicaciones foliares con zinc incrementaron 1.88 veces la concentración de este elemento en la cáscara y 1.59 veces en la pulpa del tubérculo de papa. Incrementar la dosis y fraccionamiento de aplicación foliar con zinc no influye significativamente en la concentración de zinc en la pulpa del tubérculo de papa.

Las aplicaciones foliares con zinc tuvieron un efecto negativo sobre el rendimiento, altura, cobertura y materia seca.

VI RECOMEDACIONES

Antes de la aplicación foliar medir el pH y conductividad eléctrica de la solución fertilizante a usar para cada tratamiento.

Investigar la biofortificación foliar en otras variedades de cultivo de papa u otros cultivos de interés. Podría trabajarse la dosis de 4 kg ha^{-1} de zinc con fraccionamiento de 3 o 6 aplicaciones, o los mismos tratamientos en otras variedades de papa de periodo vegetativo intermedio.

Evaluar dosis óptimas fisiológicas para no afectar en el desarrollo y productividad del cultivo.

VII BIBLIOGRAFIA

Alcantar, G. (2009). Nutrición de cultivos. Chapingo, México. Mundi Prensa

Amezcuca, R. J.; Lara, F. M. (2017). El Zinc en las plantas. *Ciencia*, 68 (3):28-35.
Recuperado de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf

Baligar, V. C., Fageria, N. K. He, Z. L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32 (7-8): 921 - 950.doi: /10.1081/CSS-100104098

Brown, K.; Huehler, S.; Peerson, J. (2001). The importance of zinc human nutrition and estimation of global prevalence of zinc deficiency. *Food and Nutrition Bulletin* 22(2):113-122

Bruulsema, T. W.; Heffer, P; Welch, M. R.; Cakmak, I.; Moran, K. (2012). Fertilizar los cultivos para mejorar la salud humana: Un estudio Científico (resumen). Recuperado de <http://www.ipni.net/article/IPNI-3269>

Casierra-Posada, F.; González, L.A.; Ulrichs, C. (2010). Crecimiento de Plantas de Brócoli (*Brassica Oleracea* L. var Itálica) Afectadas por Exceso de Zinc. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*,4 (2):163-174.

Casierra-Posada, F.; Poveda, J. (2005). La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria* sp. Cv. Camarosa). *Agronomía Colombiana*, 23 (2): 283-289.

Delgado, O. L. (2015). Fertilización con zinc en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en suelos de costa y sierra (Tesis Ing. Agrónomo). Universidad Nacional Agraria la Molina: Lima, Perú.

Dobermann, A. (2007). Nutrient use efficiency – measurement and management. En Fertilizer Best Management Practices (p. 1 – 23). International Fertilizer Industry Association. París – Francia.

Espinoza Villanueva, V. G. (2000). Tolerancia a la toxicidad de zinc, cobre y plomo en plantas silvestres asociadas a suelos contaminados por la actividad minera (Tesis Biólogo). Lima, Perú, UNALM, Lima, Perú.

Egúsqiza, R. (2000). La papa producción, transformación y comercialización. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.

Egúsqiza, R. (2014). La papa en el Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM). Lima, Perú.

Fernández, V.; Sotiropoulos, T.; Brown, P. (2015). Fertilización foliar: Principios científicos y práctica de campo. Paris, Francia. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA)

Flores-Bendezú, J.; Calderón, J.; Rojas, B.; Alarcón-Matutti, E.; Gutiérrez, C. (2015). Desnutrición crónica y anemia en niños menores de 5 años de hogares indígenas del Perú – Análisis de la encuesta demográfica y de salud familiar 2013. Facultad de Medicina UNMSM. 78 (2):135-140

Gabriel, J. (2010). Estrategias y Perspectiva de Mejoramiento Genético de la Papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. Cochabamba, Bolivia. Fundación PROINPA

Gabriel, J.; Botello, R.; Casazola, R.; Vera, R.; Rodríguez, F.; Angulo, A. (2014). Revaloración de las Papas Nativas de Bolivia (*Solanum tuberosum* L.) como fuente de hierro y zinc. Journal of the Sela Andina Researcho Society. 5(1): 3-12. doi:10.36610/j.jsais2014.050100003

Greenway, H.; Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in non - halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*31: 103-128

Gutiérrez, R. R.; Espinoza, T. J; Bonierbale, M. (2007). UNICA: variedad peruana para mercadeo fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. *Revista Latinoamericana de la Papa.*14 (1): 41-50

Gutiérrez Vílchez, P. P. (2018). Biofortificación agronómica del cultivo de papa mediante aplicación foliar y edáfica de zinc y su interacción con cadmio (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria la Molina: Lima, Perú.

Hasang, E. E.; Carrillo. M. D.; Durango, W. D.; Morales, F. L. (2018). Omisión de nutrientes: eficiencias de absorción, rendimiento y calidad de semilla en la formación de un híbrido de maíz. *Revista Ciencia e Investigación* 11(3): 44 - 50

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2014). Producción de papa creció 45%. Recuperado de <http://m.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n-082-2014-inei.pdf>

Inostroza, J. (2009). Manual de Papa en la Araucaria: manejo y plantación. INÍA Carillanca (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). INIA boletín (193). Temuco. Chile. p 63

Kromann, P.; Valverde, F.; Alvarado, S.; Vélez, R.; Pisuña, J.; Potosí, B.; Devaux, A. (2016). Can Andean potatoes be agronomically biofortified with iron and zinc fertilizers? *Plant and soil* 411 (1-2) :121-138. doi: 10.1007/s11104-016-3065-0

Loué, A. (1988). Los micronutrientes en agricultura. Madrid, España: Mundi Prensa.

Mendel, K.; Kirkby, E.A. (2000). Principios de Nutrición Vegetal (Trad. Melgar, RJ y Ruiz, M). Francia.Switzerland. Potash Institute (Publicación original 1987)

Ministerio de Agricultura y Riego (2011). La Papa Nuestra de Cada Día. Recuperado de <http://siea.minagri.gov.pe/siea/sites/default/files/LA-PAPA-NUUESTRA-DE-CADA-DIA.pdf>

Ministerio de Salud. (2017). Plan nacional de la reducción y control de la anemia materna infantil y la desnutrición crónica infantil en el Perú: 2017 – 2021. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4189.pdf>

Molina, E. (2002). Cálculos de disoluciones y calidad de agua. En G. Meléndez y E. Molina (Eds.), Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones (p. 36 -44). Universidad de Costa Rica.

Murillo Castillo, R. G.; Piedra Marín, G.; León, R. G. (2013). Absorción de Nutrientes a Través de la Hoja. Revista Uniciencia, 27(1):232-244. Recuperado de redalyc.org/pdf/4759/475947762013.pdf

Organización Mundial de la Salud (2011). Administración de suplementos de zinc para mejorar los resultados terapéuticos en niños diagnosticados de infección respiratoria. Recuperado de https://www.who.int/elena/titles/bbc/zinc_pneumonia_children/es/

Ortiz, R. (2010). La biofortificación de los cultivos para combatir la anemia y las deficiencias de micronutrientes en el Perú. Programa mundial de alimentos de las Naciones Unidas. doi: 10.13140/RG.2.1.5035.7287

Pajuelo, J.; Villanueva, M.; Chávez J. (2000). La desnutrición crónica, el sobrepeso y la obesidad en niños de áreas rurales del Perú. UNMSM, 61(3): 201 – 206.

Pisuña, J. (2015). Biofortificación agronómica de la papa (*Solanum tuberosum* L). Mediante la aplicación de zinc (zn) al suelo y follaje. (Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3237>

Raven, P.; Evert, F.; Eichhorn, E. (2015). Biología de las plantas. Barcelona, España: Reverté.

Rout, G.R.; Das, P. (2003). Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. Agronomie, 23(1): 3-11.doi: 10.1051 / agro: 2002073

Salas, R. E. (2002). Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar. En G. Meléndez y E. Molina (Eds.), Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones (p. 7-18). Costa Rica. Universidad de Costa Rica.

Segura, J.; Montes, C.; Hilario, M; Asenjo, P.; Baltazar, G. (2002). Pobreza y Desnutrición infantil, Lima, Perú: Supergráfica EIRL.

Sida Arreola, J. P.; Sánchez Chávez, P.2019. Biofortificación del frijol estrategia potencial para combatir la desnutrición y mejora de la salud humana, México. Recuperado de <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=197>

Soria, Idrovo, N. (octubre, 2008). Nutrición Foliar y Defensa Natural. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Colombia. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/5.-Ing.-Norman-Soria.-Nutricion-foliar.pdf>

Subramanian, NK; White, PJ; Broadley, MR; Ramsay, G.2011. The three-dimensional distribution of minerals in potato tubers. *Annals of Botany* 107: 681-691. doi: 10.1093/a0b/mcr009

Trinidad Santos, A.; Aguilar Manjarrez, D. (1999). Fertilización Foliar, un Respaldo Importante en el Rendimiento de los Cultivos. *Terra*.17 (3):247- 255.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA (s.f.). Manual de Prácticas de Edafología. Lima, Perú. Facultad de Agronomía.

White, P.J.; Broadley, M.R. (2011). Physiological limits to zinc biofortification of edible crops. *Frontiers in plant Science*.80 (2): 1-11.doi: 10.3389/fpls.2011.00080

White, P.J.; Broadley, M.R.; Hammond, J.P.; Ramsay, G.; Subramanian, N.K.; Tompson, J.; Wright, G. (2012). Biofortification of potato tubers using foliar zinc-fertiliser. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 87(2):123-129. doi: 10.1080/14620316.212.11512842

White, P.J.; Thompson, J.A.; Wright, G.; Rasmussen, S.K. (2016). Biofortifying Scottish Potatoes with Zinc. *Plant and Soil*. 411(1-2): 151-165. doi: 10.1007/s11104-016-2903-4

Wisbaum, W. (2011). La desnutrición infantil: causas, consecuencias y estrategias para su prevención y tratamiento. Madrid, España: UNICEF. Recuperado de <https://www.unicef.es/sites/unicef.es/files/Dossierdesnutricion.pdf>

VIII ANEXOS

ANEXO 8.1: Análisis de varianza para el parámetro rendimiento (Mg ha⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	20	0.89	0.82	5.97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
tratamiento	181.61	4	45.4	22.340	<0.0001	
bloque	12.12	3	4.04	1.990	0.1697	
dosis	46.17	1	46.17	22.744	0.0005	*
fraccionamiento	2.1	1	2.1	1.034	0.3292	ns
dosis*frac	1.20e ⁻⁰³	1	1.20E-03	0.001	0.9810	ns
testigo vs resto	133.33	1	133.33	65.680	0.0000	*
Error	24.39	12	2.03			
Total	218.12	19				

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.76827

Error: 2.7189 gl: 14

Dosis	Medias	n	E.E.
5	24.29	8	0.58 A
10	20.89	8	0.58 B

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.76827

Error: 2.7189 gl: 14

A B T	Medias	n	E.E.
testigo	29.04	0 sd	A
resto	22.59	16	0.41 B

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

ANEXO 8.2 Análisis de varianza para parámetro altura de planta (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (cm)	20	0.72	0.56	5.33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Tratamiento	101.07	4	25.27	3.5400	0.0396	
Bloque	122.43	3	40.81	5.7200	0.0115	
Dosis	9.3	1	9.3	1.3025	0.2760	ns
Fraccionamiento	0.3	1	0.3	0.0420	0.8410	ns
Dosis*Frac	0.3	1	0.3	0.0420	0.8410	ns
Testigo vs resto	91.16	1	91.16	12.7675	0.0038	*
Error	85.66	12	7.14			
Total	309.16	19				

ANEXO 8.3 Análisis de varianza para el parámetro cobertura (%).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobertura	20	0.64	0.43	10.7

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
tratamiento	604.01	4	151	4.14	0.02	
bloque	167.23	3	55.74	1.53	0.25	
dosis	156.25	1	156.25	4.29	0.06	
fraccionamiento	201.64	1	201.64	5.53	0.03	
dosis*frac	34.22	1	34.22	0.94	0.35	
testigo vs resto	211.9	1	211.9	5.81	0.03	
Error	437.51	12	36.46			
Total	1208.75	19				

ANEXO 8.4 Análisis de varianza para el parámetro masa seco de cáscara (g planta⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso seco cáscara	20	0.34	0	17.67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	1.79	4	0.45	0.95	0.467
bloque	1.14	3	0.38	0.8085106	0.512
dosis	0.14	1	0.14	0.2978723	0.595 ns
fraccionamiento	0.000004	1	0.000004	0.0000085	0.998 ns
dosis*frac	1.06	1	1.06	2.2553191	0.159 ns
Testigo vs Resto	0.59	1	0.59	1.2553191	0.284 ns
Error	5.62	12	0.47		
Total	8.55	19			

ANEXO 8.5 Análisis de Varianza para el parámetro masa seco pulpa (g planta⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ms pul	20	0.58	0.33	14.13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
tratamiento	4654.25	4	1163.56	1.9	0.1752
bloque	5302.75	3	1767.58	2.89	0.0796
dosis	647.42	1	647.42	1.0570985	0.2904 ns
fraccionamiento	0.08	1	0.08	0.0001306	0.9905 ns
dosis*frac	3420.1	1	3420.1	5.584293	0.0296 *
tes vs resto	586.64	1	586.64	0.9578578	0.34705 ns
Error	7349.43	12	612.45		
Total	17306.43	19			

Cuadro ANVA de efectos simples

F. de Var.	GL	SC	CM	FC	P-VALOR
Fd5	1	1726.30041	1726.30	2.81866824	0.11900159 ns
Fd10	1	1693.88087	1693.88	2.76573428	0.12217936 ns
Df4	1	545.730102	545.73	0.89105702	0.36380936 ns
Df8	1	3521.79207	3521.79	5.75031054	0.03364231 *
Error	12	7349.43	612.45		

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=38.12767

Error: 612.4500 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
d5f8	193.45	4	13.45 A
d10f8	151.49	4	13.45 B

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

ANEXO 8.6 Análisis de varianza para el parámetro masa seca en hojas (g planta^{-1})

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Psaer	20	0.15	0	27.99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
tratamiento	223.31	4	55.83	0.28	0.8854
bloque	189.06	3	63.02	0.32	0.8137
dosis	70.51	1	70.51	0.35345	0.563207609 ns
fraccionamiento	14.08	1	14.08	0.07058	0.795003394 ns
dosis*frac	83.13	1	83.13	0.41671	0.530731894 ns
Testigo vs resto	55.58	1	55.58	0.27861	0.607235945 ns
Error	2393.89	12	199.49		
Total	2806.26	19			

ANEXO 8.7 Análisis de varianza para el contenido de zinc en pulpa (mg kg⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ZNPULPA	20	0.85	0.76	9.12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor	
Tratamiento	188.61	4	47.15	16.44	0.0001	
bloque	8.42	3	2.81	0.98	0.4352	
dosis	0.2	1	0.2	0.07	0.7963	ns
fraccionamiento	9.3	1	9.3	3.24	0.0970	ns
dosis*frac	0.9	1	0.9	0.31	0.5858	ns
Testigo vs resto	178.2	1	178.2	62.09	0.0000	**
Error	34.43	12	2.87			
Total	231.46	19				

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=18.04604

Error: 2.8200 gl: 12

A B T	Medias	n	E.E.	
Testigo	12.6	4	sd	B
Resto	20.06	16	0.43	A

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

ANEXO 8.8 Análisis de varianza para el contenido de zinc en cáscara (mg kg⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Zn_cascar	20	0.56	0.31	37.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
tratamiento	1657.17	4	414.29	2.67	0.0838
bloque	740.82	3	246.94	1.592442123	0.2428
dosis	67.24	1	67.24	0.433610627	0.5227
fraccionamiento	27.04	1	27.04	0.174372864	0.6836
dosis*frac	605.16	1	605.16	3.902495647	0.0717
tes vs resto	957.73	1	957.73	6.176114013	0.0287 *
Error	1860.85	12	155.07		
Total	4258.84	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=15.16732

Error: 155.0700 gl: 12

A_B_T	Medias	n	E.E.
Resto	36.85	16	3.27 A
Testigo	19.55	4	6.53 B

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

ANEXO 8.9 Análisis de variancia para el parámetro contenido de zinc en hojas (mg kg^{-1})

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
zn_foliar	20	1	0.99	3.11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

Fuente de Variación	SC	GL	CM	F	p-valor
tratamiento	995307.26	4	248826.82	906.79	<0.0001
bloque	764.37	3	254.79	0.93	0.457
dosis	313.29	1	313.29	1.1417	0.306 ns
fraccionamiento	967.21	1	967.21	3.5248	0.085 ns
dosis*frac	338.56	1	338.56	1.2338	0.288 ns
testigo vs resto	993688.2	1	993688.2	3621.313	0.000 *
Error	3292.85	12	274.4		
Total	999364.48	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=20.17609

Error: 274.4000 gl: 12

A B T	Medias	n	E.E.
Testigo	87.4	4	5.12 B
Resto	644.65	16	2.56 A

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

ANEXO 8.10 Análisis de variancia para el parámetro extracción de zinc en tubérculo de papa (g ha⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ExtraZn Tubr(g.ha ⁻¹)	20	0.7	0.52	15.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

Fuente de variación	SC	GI	CM	F	p-valor
tratamiento	7557.35	4	1889.34	6.390	0.005 *
bloque	689.94	3	229.98	0.780	0.529
dosis	200.15	1	200.15	0.677	0.427
fraccionamiento	286.22	1	286.22	0.967	0.345
dosis*frac	1774.05	1	1774.05	5.996	0.031 *
Tes vs Resto	5296.92	1	5296.92	17.904	0.001 *
Error	3550.15	12	295.85		
Total	11797.43	19			

Cuadro ANVA de efectos simples

F. de Var.	GL	SC	CM	FC	p- valor
Fd1	1	1630.424	1630.424	5.511	0.037 *
Fd2	1	263.529	263.529	0.891	0.364
Df1	1	391.212	391.212	1.322	0.273
Df2	1	1356.671	1356.671	4.586	0.053
Error	12	3550.150	295.846		

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=26.49968

Error: 295.8500 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
d5f8	138.21	4	8.48 A
d5f4	108.69	4	8.48 B

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

ANEXO 8.11 Análisis de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : PEDRO PABLO GUTIERREZ
 Departamento : LIMA
 Distrito :
 Referencia : H.R. 63837-077C-18

Provincia : CAÑETE
 Predio : FUNDO DON GERMAN
 Fecha : 15/06/18

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
7848	Antonio Aguirre - Zona Bajo Marankiari	7.74	0.51	0.30	0.75	11.4	174	51	24	25	Fr.Ar.A.	12.00	8.83	2.25	0.47	0.45	0.00	12.00	12.00	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm	B ppm	Pb ppm	Cr ppm	Cd ppm	S ppm
7848	Antonio Aguirre - Zona Bajo Marankiari	43.80	3.70	4.80	0.37	1.60	33.82	12.00	1.44	0.51



Dr. Sady García Bendeza
 Jefe del Laboratorio

ANEXO 8.12 Análisis de agua

ANÁLISIS DE AGUA

pH		7.47
C.E	dS/m	0.74
Calcio	meq/L	4.12
Magnesio	meq/L	0.98
Potasio	meq/L	0.08
Sodio	meq/L	2.3
SUMA DE CATIONES		7.48
Nitratos	meq/L	0
Carbonatos	meq/L	0
Bicarbonatos	meq/L	2.87
Sulfatos	meq/L	2.15
Cloruros	meq/L	2.55
SUMA DE ANIONES		7.57
Sodio	%	30.81
RAS		1.44
Boro	ppm	0.24
Clasificación		C2-S1
Hierro	ppm	0.022
Cobre	ppm	0.01
Zinc	ppm	0.008
Manganeso	ppm	0.012
Plomo	ppm	0.002
Cadmio	ppm	0.011
Cromo	ppm	0.002

Fuente: LASPAF - UNALM

Anexo 8.13: Principales actividades realizadas en el manejo del experimento

FECHA	ACTIVIDADES	DDS
22/05/2018	Siembra	0
23/05/2018	Mezcla y Fertilización	1
24/05/2018	Riego	2
01/06/2018	Aplicación herbicida	10
9 al 30 del 6 del 2018	Aplicación de insecticida y azufrado	
03/07/2018	Fertilización edáfica y 1era aplicación con zinc para f4 y f8 -	43
04/07/2018	Aporque - Tomeo	44
07/07/2018	Segunda aplicación foliar con zinc para f8	47
10/07/2018	Riego	50
18/07/2018	Tercera aplicación foliar con zinc f8 y segunda para f4	58
20/07/2018	Aplicación insecticida	60
23/07/2018	Manteo y Cuarta Aplicación f8	63
24-27/07/2018	Manteo y aplicación de insecticida	
28/07/2018	Quinta aplicación foliar con zinc f8 y tercera f4	68
31/07/2018	Riego	71
02/08/2018	Sexta aplicación con zinc f8	73
08/08/2018	Séptima aplicación f8 y cuarta par f4	79
10-11/08/2018	Manteo y aplicación de insecticida	
13/08/2018	Octava aplicación con zinc para f8	84
18/08/2018	Riego	89
23-27/8/2018	Manteo y aplicación de insecticida	
07/09/2018	Riego	109
14/09/2018	Toma de muestras: tallos y tubérculos para análisis.	116
22/09/2018	Cosecha comercial y experimento	124

ANEXO 8.14 Cultivo de papa 48 días después de la siembra.



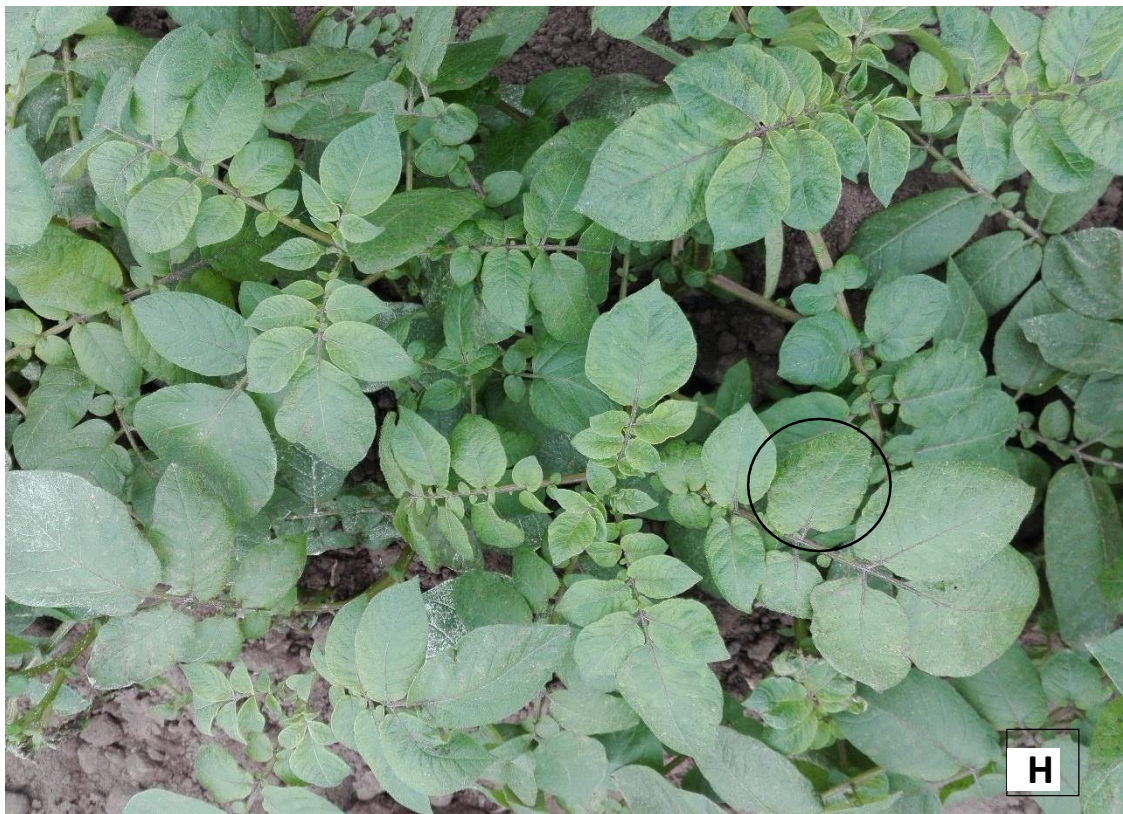
A -B: T1= testigo



C - D: T2=d5f4, cultivo con primera aplicación de zinc.



E - F: T3=d5f8, cultivo con dos aplicaciones con zinc.



G - H:T4= d10f4, cultivo con la primera aplicación foliar con zinc.



I - J: T5= d10f8, cultivo con dos aplicaciones foliares con zinc.

Anexo 8.15: Registro fotográfico



A



B



C



D



E



F



G

A: Siembra B: Aporque C: Muestra incinerada (cenizas) D: Digestión de muestras E: Filtración F: Molienda de muestras secas G: Evaluación de cobertura