

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“FERTILIZACIÓN FOLIAR Y EDÁFICA CON ZINC PARA LA
BIOFORTIFICACIÓN AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) EN CAÑETE.”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÓNOMA

MELISSA QUISPE POMA

LIMA – PERÚ

2020

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“FERTILIZACIÓN FOLIAR Y EDÁFICA CON ZINC PARA LA
BIOFORTIFICACIÓN AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) EN CAÑETE.”**

MELISSA QUISPE POMA

Tesis para optar el Título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

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

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

.....
Ing. Mg. Sc. Rolando Egúsquiza Bayona
CO-ASESOR

.....
Ing. Mg. Sc. Luis Rodrigo Tomassini Vidal
MIEMBRO

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

LIMA – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Les dedico el presente trabajo a mis padres Isaías Quispe y Martha Poma por su apoyo, esfuerzo y dedicación para poder lograr mis metas propuestas.

A mis hermanos Isaías y Gisela por su acompañamiento y comprensión.

A mi sobrina Analia que con sus ocurrencias te hacen disfrutar el día a toda mi familia.

A mi pareja Jonathan por su amor y comprensión. Así lograr un reto más en la vida que es para poder disfrutar de la experiencia que se vive junto a los seres queridos.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Mg. Sc Pedro Pablo Gutiérrez por aceptar ser patrocinador y apoyar constantemente en cada dificultad a lo largo de desarrollo de la presente tesis.

Al Ing. Mg. Sc. Rolando Egúsquiza Bayona por aceptar ser copatrocinador, brindando consejos sobre el cultivo de papa.

A los profesores, Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto, Ing. Mg. Sc. Luis Tomassini Vidal, Ing. Mg. Sc. Braulio La Torre Martínez, por los comentarios y sugerencias en la redacción de tesis.

A mi pareja Jonathan por sus consejos en los datos estadísticos y gráficos.

A mi amiga Marilu Acuña por el trabajo en equipo y comprensión durante las vivencias de la tesis.

A mi amiga Milagros Padilla por su apoyo en el laboratorio.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	MICRONUTRIENTES.....	3
2.2.	ZINC EN NUTRICIÓN HUMANA.....	3
2.3.	ZINC EN EL SUELO	4
2.4.	ZINC EN LA PLANTA	6
2.4.1.	El zinc y las auxinas	7
2.4.2.	Mecanismo de absorción de zinc en las plantas.....	8
2.4.2.2.	Absorción de zinc por raíces.....	9
2.4.2.3.	Absorción de zinc vía foliar.....	11
2.5.	FERTILIZACIÓN CON ZINC	12
2.6.	CULTIVO DE PAPA	13
2.7.	COMPOSICIÓN MINERAL DE LA PAPA.....	15
2.8.	SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE ZINC EN PAPA	17
2.9.	BIOFORTIFICACIÓN AGRONÓMICA.....	17
III.	MATERIALES Y METODOS	20
3.1.	LUGAR.....	20
3.1.1.	Ubicación geográfica.....	20
3.2.	CLIMA	20
3.3.	SUELO	20
3.4.	AGUA.....	21
3.5.	TRATAMIENTOS.....	22
3.5.1.	Características del campo experimental.....	23
3.6.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	23
3.6.1.	Muestreo de suelo y marcado del terreno	23
3.6.2.	Siembra	23
3.6.3.	Fertilización.....	23
3.6.4.	Manejo agronómico	24
3.7.	EVALUACIONES BIOMÉTRICAS Y QUÍMICAS	25
3.8.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	27

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 EVALUACIONES BIOMÉTRICAS.....	29
4.1.1 Parte aérea de la planta	29
4.1.2 Partes subterránea de la planta	32
4.1.3 Rendimiento	34
4.2 CONCENTRACIÓN DE ZINC.....	37
V. CONCLUSIONES	42
VI. RECOMENDACIONES	43
VII. BIBLIOGRAFÍA	44
VIII. ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dietas recomendadas (RDA) para el zinc, por etapa de vida y tipo de dieta, según lo sugiere IZiNCG (International Zinc Nutrition Consultative Group).	4
Tabla 2: Concentraciones de zinc en hojas o brotes de diversos cultivos.....	12
Tabla 3: Forma inorgánica de nutrientes utilizados.....	13
Tabla 4: El contenido mineral de 200 g de peso fresco de papas y su contribución a la ingesta de referencia dietética (DRI) de EE. UU.....	15
Tabla 5: Contenido de agua, Ca, Fe, Zn y ácido ascórbico (AA) en partes comestibles de plantas cultivadas.	16
Tabla 6: Composición de productos peruanos en 100 g de alimento.	17
Tabla 7: Registro 2018 de temperaturas y humedad relativa durante los meses del experimento.	20
Tabla 8: Características físicas y químicas del suelo experimental.....	21
Tabla 9: Análisis del agua.	22
Tabla 10: Factores del experimento sobre el efecto de la fertilización foliar y edáfica con zinc para la biofortificación agronómica de tubérculos de papa.	22
Tabla 11: Fuentes de fertilización utilizadas en el experimento.	24
Tabla 12: Programa de fertilización del fundo don German IRD Costa.....	24
Tabla 13: Calendario de actividades de experimento.	25
Tabla 14: Descripción de calibre en base del tamaño de tubérculo de papa.....	27
Tabla 15: Resultado de variables de parte aérea de la planta de papa.	29

Tabla 16: Resultado del porcentaje de cobertura (%).....	29
Tabla 17: Resultados de N° de tallos por planta.....	30
Tabla 18: Resultado de la aplicación edáfica y foliar sobre el número de tubérculo por planta y peso seco del tubérculo.	32
Tabla 19: Resultado de rendimiento t ha ⁻¹	34
Tabla 20: Resultado de clasificación de los tamaños de los tubérculos en extra, primera, segunda, tercera y descarte.....	34
Tabla 21: Concentración de zinc en hojas (mg kg ⁻¹).....	37
Tabla 22: Concentración de zinc en cascara (mg kg ⁻¹).....	37
Tabla 23: Concentración de Zn en pulpa (mg kg ⁻¹).	37
Tabla 24: Extracción de zinc en el rendimiento de tubérculos (g ha ⁻¹).....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales factores químicos y físicos del suelo que afectan la disponibilidad de zinc para las raíces (Cakmak, 2007).....	8
Figura 2: Producción de papa por regiones 2016 (miles de tn).....	14
Figura 3: Estadios de crecimiento con requerimientos climáticos.	14
Figura 4: Cambios promedio en la concentración de Zn de grano causada por fertilización con sulfato de zinc.....	19
Figura 5: Esquema de los tratamientos y repeticiones en el campo experimental.....	28
Figura 6: Efecto de las dosis de fertilización edáfica y foliar en la cobertura.	31
Figura 7: Efecto de la fertilización edáfica y foliar zinc de los diferentes tratamientos mostrando el promedio de crecimiento días después de siembra.	31
Figura 8: Porcentaje de peso seco en el tubérculo.....	33
Figura 9: Distribución porcentual de agua y materia seca en la planta de papa.	33
Figura 10: Efecto de la aplicación foliar de Zn en el rendimiento.	36
Figura 11: Efecto de la fertilización edáfica de Zn en el rendimiento.....	36
Figura 12: Efecto de fertilización foliar en la concentración de Zn en hojas.	40
Figura 13: Efecto de fertilización foliar en la concentración de Zn en la pulpa.	41
Figura 14: Efecto de fertilización edáfica en la concentración de Zn en la pulpa.	41

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de varianza del peso seco del tubérculo (g planta ⁻¹).....	48
ANEXO 2: Análisis de varianza del peso fresco del follaje (g planta ⁻¹).....	48
ANEXO 3: Análisis de varianza del peso seco del follaje (g planta ⁻¹).....	49
ANEXO 4: Análisis de varianza del número de tubérculos por planta.....	50
ANEXO 5: Análisis de varianza del porcentaje de cobertura.	50
ANEXO 6: Análisis de varianza de la altura de plantas.....	51
ANEXO 7: Análisis de varianza del número de tallos principales por planta.....	52
ANEXO 8: Análisis de varianza del Rendimiento total (kg ha ⁻¹).	52
ANEXO 9: Análisis de varianza de la categoría extra del tubérculo.....	53
ANEXO 10: Análisis de varianza de la categoría primera del tubérculo.....	54
ANEXO 11: Análisis de varianza de la categoría segunda del tubérculo.	54
ANEXO 12: Análisis de varianza de la categoría tercera del tubérculo.	55
ANEXO 13: Análisis de varianza de la categoría descarte del tubérculo.	56
ANEXO 14: Análisis de varianza del contenido de Zn en hojas de papa (mg kg ⁻¹).	56
ANEXO 15: Análisis de varianza del contenido de Zn en cascara de papa (mg kg ⁻¹)..	57
ANEXO 16: Análisis de varianza del contenido de Zn en pulpa de papa (mg kg ⁻¹)....	58
ANEXO 17: Análisis de varianza de la extracción de zinc en tubérculos (g ha ⁻¹).....	58
ANEXO 18: Análisis de suelo del IRD de Cañete.....	60
ANEXO 19: Análisis de agua del IRD de Cañete.....	61
ANEXO 20: Fotos del experimento.....	62

RESUMEN

El zinc es un micronutriente esencial para las plantas, animales y humanos; sin embargo, se estima que su deficiencia alcanza alrededor del 30 % de la población humana. La ingesta diaria de zinc recomendada es entre 8 a 14 mg, aunque la mayoría de las dietas son insuficientes. Un alimento con un alto potencial nutricional, incluido Zn, es la papa. Este alimento puede contener entre 10 a 25 mg Zn kg⁻¹ en algunas variedades, y es especialmente importante en la canasta alimenticia del poblador peruano. Una solución es aumentar el contenido de nutrientes en los alimentos mediante la biofortificación agronómica; es decir, la fertilización del cultivo con aplicación de fertilizantes. En el año 2018, en el valle de Cañete – Lima, fue instalado un ensayo para la biofortificación agronómica del cultivo de papa variedad UNICA, con la finalidad de incrementar el contenido de zinc en los tubérculos. El suelo presentó una clase textural franco arcillo arenosa, pH moderadamente alcalino (7.7), nivel bajo de CaCO₃ (0.3 %), nivel bajo de materia orgánica (0.8%), Zn extractable de 0.4 mg kg⁻¹ y P extractable de 11.4 mg kg⁻¹. El ensayo consistió en tres dosis de fertilización de Zn edáfico (0, 20 y 40 kg ha⁻¹) y aplicación foliar (0 y 5 kg Zn ha⁻¹). Las parcelas fueron distribuidas utilizando un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Los resultados muestran que la aplicación foliar disminuyó el rendimiento del tubérculo significativamente; se obtuvo 27.1 Mg ha⁻¹ en el control y para la dosis de 5 kg Zn ha⁻¹, 22.3 Mg ha⁻¹. No hubo diferencias en las aplicaciones al suelo. Por otro lado, se logró incrementar las concentraciones de Zn en hoja y pulpa; donde el tratamiento de fertilización foliar presentó valores de 637.7, y 20.7 mg Zn kg⁻¹ en comparación al control que registró 79.3 y 14.7 mg Zn kg⁻¹, respectivamente. Para los tratamientos al suelo de 0, 20 y 40 kg Zn ha⁻¹ resultó 15.8, 17.4 y 19.0 mg Zn kg⁻¹ de pulpa, respectivamente. Por lo tanto, se alcanzó concentraciones mayores de Zn en los tubérculos de papa mediante la biofortificación agronómica.

Palabras clave: Micronutriente, fertilización edáfica, fertilización foliar

ABSTRACT

Zinc is an essential micronutrient for plants, animals and humans; however, it is estimated that its deficiency reaches around 30% of the human population. The recommended daily intake of zinc is between 8 to 14 mg, although most diets are insufficient. A food with a high nutritional potential, including Zn, is the potato. This food can contain between 10 to 25 mg Zn kg⁻¹ in some varieties, and it is especially important in the food basket of the Peruvian population. One solution is to increase the nutrient content of foods through agronomic biofortification; that is to say, the fertilization of the crop with application of fertilizers. In 2018, in the Cañete - Lima valley, a trial was installed for the agronomic biofortification of the UNICA variety potato crop, in order to increase the zinc content in the tubers. The soil presented a sandy clay loam textural class, moderately alkaline pH (7.7), low level of CaCO₃ (0.3%), low level of organic matter (0.8%), extractable Zn of 0.4 mg kg⁻¹ and extractable P of 11.4 mg kg⁻¹. The trial consisted of three doses of edaphic Zn fertilization (0, 20 and 40 kg ha⁻¹) and foliar application (0 and 5 kg Zn ha⁻¹). The plots were distributed using a Completely Random Block Design (DBCA) with four replications. The results show that the foliar application decreased the tuber yield significantly; 27.1 Mg ha⁻¹ was obtained in the control and for the dose of 5 kg Zn ha⁻¹, 22.3 Mg ha⁻¹. There were no differences in soil applications. On the other hand, it was possible to increase the concentrations of Zn in leaf and pulp; where the foliar fertilization treatment presented values of 637.7, and 20.7 mg Zn kg⁻¹ compared to the control that registered 79.3 and 14.7 mg Zn kg⁻¹, respectively. For the soil treatments of 0, 20 and 40 kg Zn ha⁻¹ it was 15.8, 17.4 and 19.0 mg Zn kg⁻¹ of pulp, respectively. Therefore, higher concentrations of Zn were achieved in potato tubers through agronomic biofortification.

Key words: Micronutrient, edaphic fertilization, foliar fertilization.

I. INTRODUCCIÓN

Un problema global que afecta a humanos y plantas es la deficiencia de micronutrientes, se estima que alrededor del tercio de la población mundial está en riesgo. Principalmente los más afectados son las personas de escasos recursos económicos, las mujeres gestantes y los niños, los cuales no tienen el acceso de alimentos nutritivos o no alcanzan la cantidad adecuada que su organismo requiere.

Los micronutrientes son esenciales para la salud humana. En el cuerpo humano el zinc es vital para muchas funciones biológicas, esencial para más de 300 enzimas, también en funciones de crecimiento corporal. Algunos de los síntomas informados debido a la deficiencia de zinc en humanos, especialmente en bebés y niños pequeños son diarrea, retraso en el crecimiento infantil, deterioro de la memoria y sistema inmune débil (Das y Green, 2016). En la planta el zinc en pequeñas concentraciones, pero de suma importancia tiene funciones clave, incluyendo: funciones en la membrana, fotosíntesis, síntesis proteica y de fitohormonas, vigor de la plántula, formación de azúcares y defensas contra factores de estrés abióticos y enfermedades (IZA y LATIZA, 2011).

El zinc se ha convertido en la deficiencia de micronutrientes más extendida en suelos y cultivos en todo el mundo, lo que resulta en pérdidas severas de rendimiento y deterioro en la calidad nutricional. Se estima que casi la mitad de los suelos en el mundo tienen deficiencia de zinc (Das y Green, 2016). La utilización de fertilizantes en los cultivos puede contribuir tanto a la cantidad como a la calidad de los alimentos producidos, pero con un manejo adecuado, aplicando la cantidad correcta en la dosis, en el momento y lugar conveniente y en los cultivos apropiados.

En el Perú alrededor del 13.1% de niñas y niños menores de cinco años adolece de desnutrición crónica. Principalmente en los departamentos más pobres del país como Huancavelica, Cajamarca, Ucayali, Pasco y Loreto, tienen tasas de desnutrición crónica superiores al 23,0% (INEI, 2017). Entre los alimentos más consumidos, el cultivo de papa es el sustento de más de 710 mil familias, según el IV Censo nacional Agropecuario 2012, afincadas predominantemente en zonas andinas del país. La papa es mayormente producida

en la zona andina siendo su mayor sustento económico y base alimenticia. Para solucionar la ingesta insuficiente de un micronutriente en este caso el zinc principalmente, debemos conseguir un incremento de zinc en el tubérculo de papa. Para contrarrestar el problema, la biofortificación agronómica es una de las soluciones, utilizando la aplicación de fertilizantes de zinc al suelo y al follaje, para tener una referencia de dosis adecuada para aplicar, así lograr aumentar la concentración de zinc en el tubérculo, buscando así una de las muchas soluciones que puede haber para mejorar la calidad alimenticia en la población. Los objetivos principales y secundarios del trabajo en estudio son:

- a) Contribuir en el conocimiento de la biofortificación agronómica del tubérculo de papa con la fertilización edáfica y foliar con zinc en la variedad Única en suelo de Cañete.
- b) Determinar la respuesta del rendimiento de tubérculos de papa a la fertilización foliar y edáfica con zinc.
- c) Evaluar la concentración de zinc en los tubérculos de papa.
- d) Evaluar altura, número de tallos aéreos principales y cobertura con respuesta al zinc.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MICRONUTRIENTES

Los micronutrientes son requeridos por el organismo, son esenciales y de vital importancia. Los ocho elementos traza que son esenciales para el crecimiento saludable y reproducción de las plantas de cultivo son el zinc, boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y níquel. Estos elementos se conocen como "elementos traza esenciales" o micronutrientes, ya que solo se requieren en concentraciones relativamente pequeñas en los tejidos vegetales (5-100 mg kg⁻¹) (Alloway, 2008).

2.2. ZINC EN NUTRICIÓN HUMANA

El zinc es un oligoelemento esencial para los animales y los seres humanos, así como para las plantas, por lo que una ingesta adecuada de zinc es esencial para su normal crecimiento y reproducción saludables. Se sabe que el zinc se une a 925 proteínas diferentes en humanos y hay más de 300 enzimas involucradas en procesos metabólicos clave en humanos que contienen zinc. Como resultado de esta gran participación del zinc en el metabolismo humano, la deficiencia de zinc puede tener muchos efectos diferentes en la salud y el desarrollo humanos. Estos incluyen: crecimiento físico, el funcionamiento del sistema inmune, la salud reproductiva, el desarrollo neuroconductual y muchos otros que no siempre se reconocen como asociados con la deficiencia de zinc (Alloway, 2008).

Como se menciona el zinc es vital para muchas funciones biológicas en el cuerpo humano. Un cuerpo adulto contiene 2-3 gramos de zinc, presentes en todas las partes del cuerpo, incluyendo: órganos, tejidos, huesos, fluidos y células. La ingesta diaria de zinc recomendada (Tabla 1) para una mujer adulta es de 12 mg y para un hombre adulto es de 15 mg (IZA y LATIZA, 2011).

El International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG) ha estimado que la deficiencia de zinc afecta hasta a un tercio de la población mundial, con una incidencia que varía entre 4% y 73% en diferentes países. Para tratar y prevenir la deficiencia de zinc en humanos, se

pueden usar cuatro estrategias de intervención diferentes. Estos incluyen: suplementos con compuestos de zinc como medicamentos, fortificación de alimentos mediante la incorporación de aditivos de zinc en alimentos preparados, modificación de la dieta y el enriquecimiento de productos agrícolas, como los granos con zinc de diversas maneras (Alloway, 2008).

Tabla 1: Dietas recomendadas (RDA) para el zinc, por etapa de vida y tipo de dieta, según lo sugiere IZiNCG (International Zinc Nutrition Consultative Group)

EDAD	SEXO	Peso corporal de referencia (kg)	Revisiones sugeridas por IZiNCG para EAR para zinc (mg / d)	
			Dietas vegetarianas mixtas o refinadas.	Dietas sin refinar, a base de cereales.
6-11 meses	M + F	9	4	5
1-3 años	M + F	12	3	3
4-8 años	M + F	21	4	5
9-13 años	M + F	38	6	9
14-18 años	M	64	10	14
14-18 años	F	56	9	11
Embarazo	F	-	11	15
Lactación	F	-	10	11
≥ 19 años	M	65	13	19
≥ 19 años	F	55	8	9
Embarazo	F	-	10	13
Lactación	F	-	9	10

Fuente: Hotz y Brown (2004).

2.3. ZINC EN EL SUELO

El zinc es uno de los metales pesados más móviles (Loué, 1988). El rango de las concentraciones totales de zinc en suelos reportados en la literatura tiende a mostrar una concentración total media global de alrededor de 55 mg Zn kg⁻¹ (Alloway, 2008). El zinc está relacionado con los silicatos primarios, los minerales arcillosos y la materia orgánica (Loué, 1988).

Uno de los factores importantes para saber la forma del zinc en el suelo es con el pH. El pH del suelo gobierna la especiación de zinc en solución, cuando se tiene los valores de pH por debajo de 7.7, predomina Zn^{2+} , pero por encima de pH 7.7, $ZnOH^+$ es la especie principal, y por encima de pH 9.11, la especie neutral $Zn(OH)_2$ es dominante (Alloway, 2008).

Los suelos calcáreos, generalmente con un $pH > 7,4$ tienen concentraciones relativamente bajas de zinc disponibles debido a que la solubilidad del zinc disminuye con el aumento de pH (Alloway, 2008).

El zinc interactúa positivamente con N y K y negativamente con P. El efecto antagónico de la interacción Zn por P ha sido objeto de un estudio intensivo en varios países. Esto implica que los agricultores no deben abusar de los fertilizantes fosfatados, o de lo contrario, reducirían la absorción de zinc por los cultivos. Además, el zinc interactúa antagónicamente con los tres nutrientes secundarios S, Ca y Mg, así como con otros micronutrientes, como Fe, Mn, Cu y Mo (Das y Green, 2016).

Alloway (2008) menciona que los factores del suelo que afectan la disponibilidad de zinc para las plantas son aquellos que controlan la cantidad de zinc en la solución del suelo y su sorción-desorción desde / hacia la solución del suelo:

- Los suelos arenosos y los suelos ácidos altamente lixiviados con bajas concentraciones de zinc totales y disponibles en la planta son altamente propensos a la deficiencia de zinc.
- La disponibilidad de zinc disminuye al aumentar el pH del suelo debido al aumento de la capacidad de adsorción, la formación de formas hidroxiladas de zinc, la posible quimisorción en el carbonato de calcio y la coprecipitación en óxidos de hierro. Los suelos alcalinos, calcáreos y muy calizos tienden a ser más propensos a la deficiencia de zinc que los suelos neutros o ligeramente ácidos
- Cuando se agrega materia orgánica rápidamente descomponible, como el estiércol, a los suelos, el zinc puede estar más disponible debido a la formación de complejos de zinc orgánicos solubles que son móviles y también probablemente capaces de absorberse por las raíces de las plantas.
- Los altos niveles de fósforo pueden disminuir la disponibilidad de zinc o la aparición de la deficiencia de zinc asociada con la fertilización con fósforo puede deberse a factores fisiológicos de la planta.

- Algunas formas de fertilizantes fosfatados, como el superfosfato, contienen cantidades significativas de zinc como impurezas y también tienen un efecto acidificante en los suelos. Cuando se reemplazan con formas de "alto análisis" de fertilizantes fosfatados, como el fosfato monoamónico (MAP) y el fosfato diamónico (DAP), a menudo se ha encontrado que la incidencia de la deficiencia de zinc aumenta.
- Las concentraciones más altas de cobre en la solución del suelo, en relación con el zinc, pueden reducir la disponibilidad de zinc en una planta (y viceversa) debido a la competencia por los mismos sitios para la absorción en la raíz de la planta. Esto podría ocurrir después de la aplicación de un fertilizante de cobre.
- Fertilizantes de nitrógeno, como el nitrato de amonio y el sulfato de amonio, puede tener un efecto beneficioso combinado sobre la nutrición de las plantas de cultivo al suministrar nitrógeno, que es a menudo el principal nutriente limitante del rendimiento, y también un aumento en la disponibilidad de zinc a través de la acidificación del suelo que resulta en la desorción del zinc, y a través de un mejor crecimiento de las raíces (por lo tanto, un mayor volumen de suelo explorado por las raíces) en la planta de crecimiento más vigoroso.

2.4. ZINC EN LA PLANTA

Las plantas requieren del zinc en pequeñas pero críticas concentraciones para cumplir con varias funciones clave, incluyendo: funciones en la membrana, fotosíntesis, síntesis proteica y de fitohormonas, vigor de la plántula, formación de azúcares y defensas contra factores de estrés abióticos y enfermedades (IZA y LATIZA, 2011).

El zinc se toma predominantemente como un catión divalente Zn^{2+} ; a pH alto, posiblemente también se toma como un catión monovalente $ZnOH^+$ (Marschner, 2012). Siendo elemento esencial en el metabolismo de las plantas, solo existe como Zn^{2+} y no participa en las reacciones de oxidación-reducción (Barker y Pilbeam, 2015). Las funciones metabólicas de Zn se basan en su fuerte tendencia a formar complejos tetraédricos con nitrógeno, oxígeno y particularmente azufre, estos complejos tetraédricos permiten que el Zn desempeñe un papel funcional catalítico y estructural en las reacciones enzimáticas (Marschner, 2012).

En las plantas, el zinc actúa como un cofactor funcional, estructural o regulador de un gran número de enzimas. Se han identificado más de 70 metaloenzimas que contienen zinc y éstas

se encuentran en las seis clases de enzimas: oxidoreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas. El átomo de zinc generalmente está fuertemente unido a la apoenzima y solo se puede eliminar con un tratamiento químico severo (Alloway, 2008).

El zinc en aplicaciones foliares se desplaza hacia las hojas jóvenes, los frutos y las raíces. El zinc tiende a acumularse en las raíces principalmente en caso de suministro importante de zinc (Loué, 1988)

En la savia del floema, las concentraciones de zinc son bastante altas, con Zn posiblemente complejo por solutos orgánicos de bajo peso molecular (Marschner, 2012). El zinc se acumula en los tejidos de la raíz, pero se transloca al tallo cuando es necesario. Además, el zinc se transloca parcialmente de hojas viejas a órganos en desarrollo (Alloway, 2008).

Kumar, Meena y Singh (2016) mencionan que algunos de los papeles importantes del zinc en las plantas son los siguientes:

- Ayuda en la producción de auxina, que se conoce como una importante hormona de crecimiento esencial.
- Regula la formación de almidón en las plantas y, por lo tanto, es responsable del desarrollo adecuado de la raíz.
- juega un papel clave en la formación de clorofila y carbohidratos
- Proporciona resistencia a las plantas para resistir temperaturas bajas.
- También ayuda en la biosíntesis del citocromo y mantiene la integridad de la membrana plasmática y la síntesis de la cutícula de la hoja.

2.4.1. El zinc y las auxinas

Los síntomas más distintivos de la deficiencia de Zn son retraso en el crecimiento y 'hoja pequeña', se relacionan posiblemente con la alteración en el metabolismo de las auxinas, el ácido indolacético (AIA) en particular (Marschner, 2012). Entonces posiblemente, los niveles bajos de AIA pueden ser ocasionados por el resultado de la síntesis inhibida o una mayor degradación de AIA. El triptófano es el precursor más probable para la biosíntesis de AIA (Alloway, 2008).

2.4.2. Mecanismo de absorción de zinc en las plantas

a) Concentración y disponibilidad del zinc en las plantas

En el suelo, la fuente principal de entrada de minerales es física y desgaste químico de las rocas madre. La disponibilidad del zinc depende de las propiedades fisicoquímicas del suelo, la actividad de las raíces de las plantas y la microflora en la rizosfera y otros factores no edáficos. Alguna fracción de zinc del suelo existe ya sea como complejos insolubles o en forma adsorbida e intercambiable. También, existe otra fracción en forma soluble en agua que está disponible libremente para las plantas. La actividad de raíz también hace que la forma intercambiable esté disponible para la absorción hasta cierto punto mediante intercambio iónico y liberación de ácidos orgánicos, etc. El zinc insoluble comprende > 90% de zinc del suelo y no está disponible para las plantas, mientras que la forma intercambiable varía de 0,1 a 2 ug Zn g⁻¹ de suelo (Gupta, Ram y Kumar, 2016).

El principal factor determinante que afecta la distribución del zinc en el suelo es el pH del suelo, que afecta la solubilidad del zinc en la solución del suelo. El aumento del pH del suelo estimula la adsorción de zinc a los sitios de intercambio catiónico de los constituyentes del suelo (por ejemplo, óxidos de metal, minerales de arcilla) que reducen la disponibilidad de zinc en la solución del suelo (Fig. 1). Además, a un rango de pH de 5.5-7.0, la concentración de zinc en la solución del suelo (zinc soluble) disminuye significativamente de 30 a 45 veces por cada incremento unitario en el pH del suelo. La humedad del suelo es otro factor físico que afecta la absorción de zinc por las raíces de las plantas a través de la difusión (Cakmak, 2007).

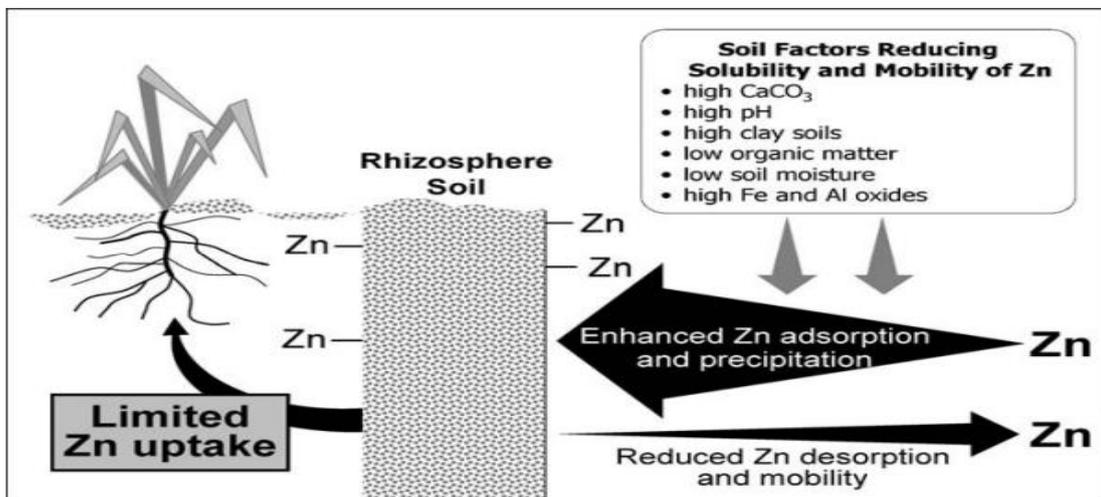


Figura 1: Principales factores químicos y físicos del suelo que afectan la disponibilidad de zinc para las raíces (Cakmak, 2007).

El potencial redox del suelo (Eh) influye en la velocidad e intensidad del proceso de humificación, el estado redox de la rizosfera y, por lo tanto, la movilidad del zinc. En general, el crecimiento fisiológico y el funcionamiento de las plantas tienen lugar en un rango de Eh de +300 a +700 mV (Volk, 1993). Sin embargo, las condiciones reducidas (con Eh <+350 mV) limitan el crecimiento de muchas plantas al privar al conjunto de raíces de oxígeno. Las raíces de las plantas modifican Eh de la rizosfera de dos maneras: primero a través de la secreción de diversos reductantes y compuestos quelantes en el exudado de las raíces y, en segundo lugar, mediante la asociación con la comunidad microbiana (Hartmann et al., 2009). Ambos mecanismos influyen en la disponibilidad, solubilidad y estado de oxidación-reducción del zinc en la solución del suelo. En conclusión, el tipo de suelo, los tipos de minerales y arcillas, la biota del suelo y la absorción de plantas, etc., determinan colectivamente la distribución de zinc en los flujos suelo-raíz-planta (Gupta, Ram y Kumar, 2016).

b) Absorción de zinc por raíces

El zinc se toma principalmente como catión divalente (ion Zn^{2+}) por las raíces de las plantas. Sin embargo, en algunos casos, las raíces de las plantas también absorben los complejos orgánicos de ligando y Zn. Dependiendo del ligando secretado por las raíces de las plantas, dos estrategias fisiológicas están involucradas en la absorción de cationes divalentes como Zn^{2+} . La estrategia I implica la salida de reductores, ácidos orgánicos e iones H^+ , que aumentan la solubilidad de los complejos de Zn (fosfatos de Zn, hidróxidos, etc.) y liberan iones Zn^{2+} para la absorción por las células epidérmicas de la raíz. Los ácidos orgánicos liberados en exudados / mucílagos de las raíces o directamente por las células epidérmicas incluyen ácido cítrico, ácido málico, ácido oxálico o ácido tartárico, etc. La estrategia II implica la salida de fitosideróforos (phytometallophores) que forman complejos estables con Zn y su posterior afluencia en células epidérmicas de la raíz. Sin embargo, este mecanismo de absorción (es decir, la estrategia 2) está restringido a las raíces de los cereales. Los fitosideróforos son compuestos orgánicos de bajo peso molecular (en particular aminoácidos no proteicos tales como nicotianamina, ácido desoxiginénico, ácido avenico, etc.) que poseen una alta afinidad de unión por sus respectivos metales, dando como resultado su quelación y adquisición. La biosíntesis de estos compuestos implica la condensación de moléculas de S-adenosilmetionina, causando la formación de nicotianamina, que es un precursor de fitosideróforos (Gupta, Ram y Kumar, 2016).

Después de la movilización, un metal debe ser capturado por las células de la raíz. Los metales se unen primero por la pared celular, un intercambiador de iones de afinidad comparativamente baja y baja selectividad. Los sistemas de transporte y los sitios de unión de alta afinidad intracelular median e impulsan la absorción a través de la membrana plasmática. La captación de iones metálicos es probable que tenga lugar a través de transportadores secundarios tales como proteínas de canal y/o proteínas portadoras acopladas con H^+ . El potencial de membrana, que es negativo en el interior de la membrana plasmática y podría superar los -200 mV en las células epidérmicas de la raíz, proporciona una fuerte fuerza motriz para la captación de cationes a través de transportadores secundarios (Clemens, Palmgren y Kramer, 2002).

Dentro de la raíz, Zn^{2+} tiene que atravesar varios tejidos antes de llegar al xilema para su transporte. Estos tejidos involucran (1) epidermis, (2) corteza (3) endodermis (4) periciclo. Tal transporte de nutrientes minerales y agua hacia la estela se conoce como transporte radial. Durante el transporte de Zn^{2+} (iones minerales) al xilema, se siguen dos rutas principales: (1) ruta simplástica (2) ruta apoplástica. Los citoplasmas de las células adyacentes en los tejidos de la raíz están conectados por puentes citoplásmicos (plasmodesmata) en la pared celular, formando un continuo sinusoidal sin barreras de membrana. Además de esto, el agua y los iones minerales también pueden moverse a través de la pared celular y los espacios intercelulares, el apoplasto, que también tiene contribuciones significativas al transporte de zinc en la raíz (Steudle, 1994). Ambos flujos simplásticos y apoplásticos contribuyen a los flujos netos de Zn en los brotes. El transporte de Zn apoplástico implica la entrada de Zn desde la interfase de la membrana plasmática de la pared celular al citosol, haciendo que este proceso sea menos selectivo que el transporte simplástico (Gupta, Ram y Kumar, 2016).

En general los metales, deben tomarse en el sistema de la raíz antes de que puedan ingresar al xilema. Después de la captación de metales en el sistema de raíces, tres procesos de movimiento de metales en el xilema: secuestro de metales dentro de las células de la raíz, transporte simétrico en la estela y liberación en el xilema. El transporte de iones en el xilema está estrechamente controlado por las proteínas de transporte de membrana. Los transportadores de metal involucrados en la carga de xilema aún no se han identificado (Clemens, Palmgren y Kramer, 2002).

En la savia del xilema, los iones metálicos como Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , etc. están complejados con asparaginas, histidina, ácidos orgánicos y nicotianamina (Gupta, Ram y Kumar, 2016). En el transporte a larga distancia en la xilema, el zinc está ligado a ácidos orgánicos u ocurre como el catión divalente libre (Marschner, 2012).

c) **Absorción de zinc vía foliar**

Los nutrientes de aplicación foliar pueden penetrar la superficie de la hoja tanto a través de la cutícula como del estoma, y la importancia relativa de las vías aún está en discusión, pero esto también depende de las propiedades del compuesto en cuestión (por ejemplo, solubilidad y tamaño de la gota del agua) y de la superficie específica de la hoja (p. ej., humectabilidad, composición de la cutícula, densidad del estoma). La penetración de las superficies de las hojas por los solutos es un proceso pasivo conducido por la diferencia de concentración entre la superficie y el interior de la hoja. Además, la absorción en la hoja debe separarse de la absorción posterior de las sustancias en las células de la hoja. Ambos procesos pueden verse afectados por factores de control similares, como la luz o la temperatura, pero dado que no existe un circuito de retroalimentación estricto entre las tasas de captación de soluto en las células de la hoja y las tasas de captación a través de la superficie de la hoja (Marschner, 2012).

En la fertilización foliar, Zn^{2+} iones entran en la planta (apoplasto hoja) directamente a través de los poros de los estomas y aumentan la concentración de Zn en el tejido del floema de la hoja de donde puede ser directamente translocado a los sumideros de crecimiento (grano, fruta, tubérculo, follaje, raíz, etc.) (Gupta, Ram y Kumar, 2016).

Una vez que Zn ingresa en el floema, la translocación adicional a varios órganos de plantas y sumideros en desarrollo está mediada por vías de corta y larga distancia. Además, la movilidad de Zn es mayor en el floema que en el xilema debido a la mayor concentración de solutos quelantes (péptidos, ácidos orgánicos, etc.) en la savia del floema. Se cree que el Zn se transporta en forma iónica o como complejos de nicotianamina, malato de Zn, Zn-histidina de Zn en los tejidos del floema (Gupta, Ram y Kumar, 2016). White y Broadley (2011) menciona, la movilidad de Zn en el floema determinará la acumulación de Zn por los tejidos alimentados con floema, como frutas, semillas y tubérculos, generalmente se considera que el Zn tiene una baja movilidad en el floema, podría ser una consecuencia de la necesidad de mantener bajas concentraciones de Zn^{2+} en la savia del floema para evitar la toxicidad celular. Mayor producción de compuestos quelatan Zn^{2+} , como NA, puede

aumentar las concentraciones de Zn en el floema y su entrega a los tejidos alimentados con floema.

Tabla 2: Concentraciones de zinc en hojas o brotes de diversos cultivos

Clase de cultivo	Genero seleccionado	Parte de la planta	Rango común, mg kg ⁻¹ peso seco
Fronroso	<i>Amaranthus, Apium,</i>	Hojas maduras o	20-200
	<i>Brassica, Lactuca,</i> <i>Rheum, Spinacia</i>	hojas de envoltura	
Fruta	<i>Abelmoschus,</i>	Hojas maduras	20-200
	<i>Capsicum, Citrullus,</i>		
	<i>Cucurbita,</i>		
	<i>Cucumis,</i>		
	<i>Lycopersicon,</i> <i>Solanum, Zea</i>		
Bulbo	<i>Allium</i>	Todo superior u hojas maduras	25-75
Raíz	<i>Brassica, Daucus,</i> <i>Ipomoea, Raphanus</i>	Hojas maduras	50-350
Tubérculo	<i>Solanum</i>	Hojas maduras	25-200
Tallos	<i>Asparagus, Brassica</i>	Hojas maduras	20-100

Fuente: Barker et al. (2015); Bryson et al. (2014).

2.5. FERTILIZACIÓN CON ZINC

La deficiencia de zinc en los cultivos se puede dar solución corrigiendo sus niveles, con aplicaciones en el suelo y/o foliares. El fertilizante más usado es el sulfato de zinc el cual es muy soluble.

El sulfato de zinc puede ser transmitido y labrado en el semillero o aplicado en una banda cerca de la semilla (al costado y debajo de la semilla). Las formas queladas de zinc se usan principalmente como tratamiento de rescate para un cultivo deficiente en la actualidad (Alloway, 2008).

Cuando los fertilizantes de zinc se aplican al suelo o al follaje, es particularmente importante que los compuestos no causen toxicidad en el suelo y sean fácilmente solubles para una absorción rápida. La adición de surfactantes (aniónicos, catiónicos y no iónicos) en la aplicación de Zn foliar mejora la permeabilidad cuticular iones de Zn^{2+} iones y así promueve su entrada en el apoplasto de la hoja. Zn se puede aplicar a fertilizantes orgánicos e inorgánicos. El sulfato de zinc ($ZnSO_4 + 7H_2O$) es la fuente inorgánica más ampliamente aplicada de Zn de baja a alta solubilidad y bajo costo. Otros fertilizantes comunes de Zn son ZnO, ZnEDTA y Zn-oxisulfato (Gupta, Ram y Kumar, 2016).

Tabla 3: Forma inorgánica de nutrientes utilizados

Nutriente	Fuentes	Fórmula	Contenido %
Zn	Sulfato de zinc	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	21
		$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	33
	Quelato	Zn-EDTA	12
	Oxido de Zn	ZnO	55
	Fritas de Zn		Contenido de Zn variable

Fuente: Saeid, A. (2018).

2.6. CULTIVO DE PAPA

Cabe indicar que nuestro país tiene la mayor diversidad de papa (*Solanum tuberosum*) en el mundo, al contar con ocho especies nativas domesticadas y 2 mil 301 de las más de 4 mil variedades que existen en Latinoamérica. Asimismo, el Perú posee 91 de las 200 especies que crecen en forma silvestre en casi todo nuestro continente (INEI 2014).

En la producción de 2016 (Fig.2), este tubérculo se cultiva en 19 de las 25 regiones del país, siendo la región Puno, la de mayor producción y la región Lambayeque, la de menor producción. Por zonas de producción, el 47,1% de la producción nacional corresponde al conjunto de regiones de la zona Sierra sur del país (Puno, Apurímac, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna), el 28,5% al conjunto de regiones de la zona Sierra Centro (Huánuco, Junín, Huancavelica y Pasco), el 20,3% al grupo de regiones la zona Sierra Norte (La Libertad, Cajamarca, Ancash, Amazonas, Piura y Lambayeque); y, el 4,1% restante, a la producción de las regiones de la Zona Centro Costa (Lima e Ica) (MINAGRI, 2017).

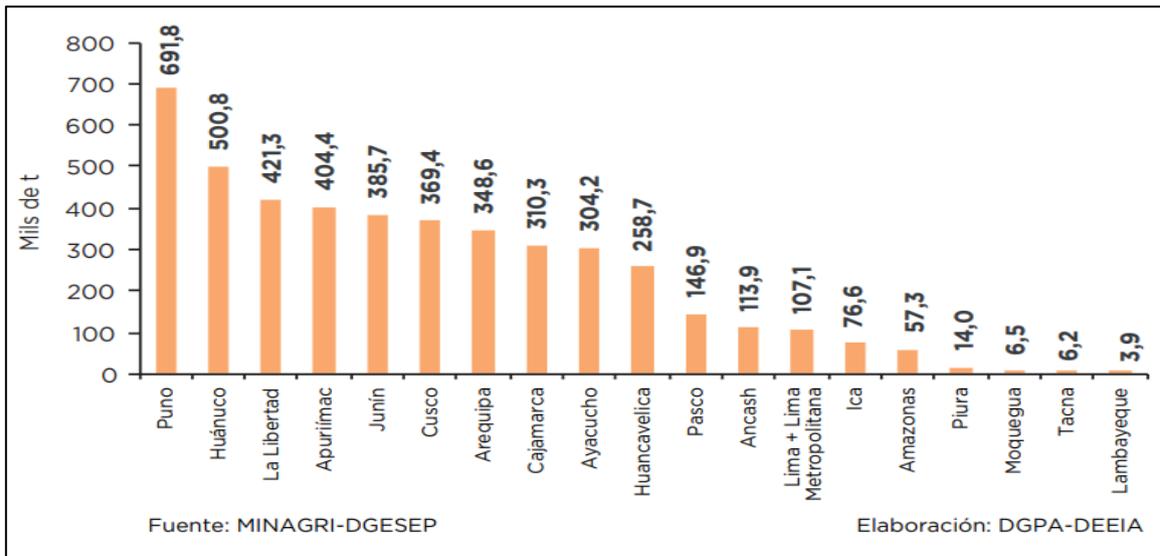


Figura 2: Producción de papa por regiones 2016 (miles de ton).

El consumo de papa, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), es de 200 g de papa al día, y datos del CIP indican que la concentración media en las variedades de papa es de 0.47 mg de hierro y 0.35 mg de zinc por 100 g de peso fresco. La papa contribuye con 2.6% y 3.2 % del RDA (cantidad diaria recomendada) de hierro y zinc considerando una ingesta de 18,000 y 11,000 ug diarios para cada uno de ellos. El CIP señala que si se lograra biofortificar las variedades de papa hasta 1.2 mg de hierro y 0.83 mg de zinc por 100 g peso fresco, este cultivo podría contribuir con 7% y 8% del RDA para hierro y zinc, respectivamente (Ortiz, 2010).

Periodo Fenológico	Crecimiento Vegetativo						
	Crecimiento Reproductivo				Maduración		
Parte aérea	Brotamiento	Emergencia (1)	Brotos laterales (2)	Botón floral (3)	Floración (4)	Maduración de bayas (5)	Senescencia
Parte radicular	Formación de raíces y tallos	Desarrollo y crecimiento de raíces		Emisión y crecimiento de estolones	Crecimiento y llenado de estolones	Maduración de tubérculos	
Ocurrencia de la fase (dds) ¹							
* Variedad Precoz		15 - 20	25 - 35	60 - 70	80 - 95	100 - 120	
* Variedad semitardía		20 - 25	35 - 45	75 - 90	100 - 120	130 - 160	
* Variedad tardía		25 - 30	45 - 55	95 - 105	135 - 150	180 - 200	
Temperatura Óptima	17°C a 25°C	17°C a 25°C	15°C a 25°C	15°C a 25°C	15°C a 25°C	14°C a 20°C	
Temperatura Crítica	< 5°C a 30°C >	< 5°C a 30°C >	< 6°C a 30°C >	< 6°C a 30°C >	< 6°C a 30°C >	< 5°C a 28°C >	
Humedad Óptima	60% - 80%	60% - 80%	60% - 80%	60% - 80%	60% - 80%	60% - 80%	
Déficit Hídrico	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Tolerante	

Figura 3: Estadios de crecimiento con requerimientos climáticos.

Fuente: www.senamhi.gob.pe

2.7. COMPOSICIÓN MINERAL DE LA PAPA.

Las papas contienen alta cantidad de carbohidratos, vitaminas y minerales. Una sola papa de tamaño mediano que pesa 200 g de peso fresco (FW) puede proporcionar aproximadamente el 13% de la ingesta de referencia dietética (DRI) de zinc en los EE. UU. (Tabla 4) (White et al., 2009). Las papas generalmente no son ricas en Ca. Pero los tubérculos contienen el ascorbato (vitamina C), la cisteína (proteína) y varios aminoácidos, en concentraciones relativamente altas de compuestos orgánicos que estimulan la absorción de micronutrientes minerales por parte de los seres humanos, como el ascorbato (vitamina C), la proteína cisteína y varios aminoácidos orgánicos (Departamento de Agricultura de los EE. UU., Servicio de Investigación Agrícola, 2006). Además tienen compuestos de bajas concentraciones de que limitan su absorción en el organismo, se tiene principalmente el fitato que en la papa contiene de 0,11% a 0,27% de materia seca (tabla 6) (Frossard et al., 2000). También está el oxalato que contiene el 0.03% de materia seca y oxalato 0.03 de materia seca (White et al., 2009).

Tabla 4: El contenido mineral de 200 g de peso fresco de papas y su contribución a la ingesta de referencia dietética (DRI) de EE. UU

		DRI	Papa Estadounidense	Papa Reino Unido	Porcentaje DRI
N	(mg)	NS	-	660	-
S	(mg)	NS	-	60	-
K	(mg)	4700	850	720	18
Cl	(mg)	2300	-	132	-
Ca	(mg)	1000	22	10	2.2
P	(mg)	700	118	74	17
Na	(mg)	1500	12	14	0.8
Mg	(mg)	420	45	34	11
Fe	(mg)	8	1.4	0.8	5.5
Zn	(mg)	11	0.6	0.6	13
Mn	(mg)	2.3	0.3	0.2	26
Cu	(ug)	900	231	160	25
I	(ug)	150	37	6	25

Fuente: White et al. (2009).

Tabla 5: Contenido de agua, Ca, Fe, Zn y ácido ascórbico (AA) en partes comestibles de plantas cultivadas

	<i>Water</i> (% fresh weight)	<i>Ca</i>	<i>Fe</i> (mgkg ⁻¹ dry weight)	<i>Zn</i>	<i>AA</i>	<i>Phytic acid</i> (g kg ⁻¹ dry weight)
Leaf blades						
Lettuce (loose leaves)	94	12000	250	50	3000	0.1
Lettuce (head)	96	7000	70	40	2000	
Kale	85	9000	110	30	8000	
Cabbage	92	6000	80	25	4000	
Roots/tubers						
Carrot	88	2200	40	15	800	0.9
Potato	79	330	40	20	950	0.1
Yam	70	550	20	8	550	0.4–1.6
Cassava	60	400	7	8	510	1.5–2.2
Topinambur	78	650	150	5	180	
Radish	95	4000	60	60	4400	
Kohlrabi	91	2500	40	3	7000	
Seeds						
Wheat	11	350	45	35	0.0	3.9–13.5
Wheat flour, white	12	170	13	8	0.0	4.9
Corn	10	80	30	25	0.0	8.3–22.2
Oat	8	600	50	40	0.0	7.0–11.6
Barley	9	350	40	30	0.0	7.5–11.6
Rye	11	370	30	40	0.0	5.4–14.6
Sorghum	9	310	50	–	0.0	9.1–13.5
Rice (brown)	12	380	20	20	0.0	8.4–8.9
Rice (white)	13	34–317	9–11	11–12	0.0	3.4–5.0
Cowpea	77	5520	48	44	109	9.4
Soybean	8	3000	170	50	65.0	10.0–22.2
Pigeon pea	11	1500	60	30	0.0	7.1–70.0
Fruits						
Plantain	65	86	17	4	529	1.8
Tomato	94	800	70	15	3000	0.4
Orange	87	3000	8	5	4000	

Fuente: Frossard et al. (2000).

Tabla 6: Composición de productos peruanos en 100 g de alimento

Nombre del alimento	Agua (%)	Ca mg	P mg	Zn mg	Fe mg	Vitamina C mg
Papa amarilla sin cascara	73.2	6	52	0.29	0.40	9
Papa blanca	74.5	9	47	0.29	0.5	14
Papa chuño negro	14.1	44	203	*	0.90	1.70
Papa color morado deshidratado	13.3	23	180	*	2.6	1.40
Papa helada amarga	54.5	58	54	*	2,8	1
Papa huayro con cáscara	81	10	61	0.33	0.73	8.6

Fuente: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud y Centro Nacional de Alimentación y Nutrición (2009).

2.8. SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE ZINC EN PAPA

La deficiencia de zinc, da lugar a plantas atrofiadas con hojas jóvenes cloróticas que son angostas y ahuecadas hacia arriba ("hoja de helecho"). Otros síntomas de la hoja son venas verdes, manchas irregulares con tejido muerto de color gris o marrón en las hojas más viejas y una apariencia erecta, y aparecen manchas irregulares grises o marrones en las hojas más viejas. Los primeros síntomas son similares al enrollamiento de la hoja. Las plantas son más rígidas de lo normal con hojas más pequeñas y entrenudos superiores más cortos. En casos severos, las plantas pueden morir dentro de dos semanas (Alloway, 2008).

2.9. BIOFORTIFICACIÓN AGRONÓMICA

La biofortificación de los cultivos es una estrategia utilizada para conseguir niveles adecuados de micronutrientes, vitaminas, etc. para las personas deficientes, lograr así niveles adecuados para su salud. Existe biofortificación genética y agronómica, los cuales se pueden realizar conjuntamente o individual.

Varios programas de investigación asociados con la biofortificación de Zn ya han comenzado a corregir los defectos de desnutrición global. Los cultivos de cereales son la opción básica en estos proyectos de biofortificación. Estos retos de biofortificación proponen enfoques de biofortificación tanto agronómicos como genéticos para corregir la deficiencia

de Zn. La biofortificación agronómica es la utilización de estrategias agronómicas para mejorar Zn fitodisponibilidad en el suelo por la fertilización, la remediación de la alcalinidad del suelo, La adopción de la rotación de cultivos apropiados y la introducción de microorganismos beneficiosos etc. (Gupta, Ram y Kumar, 2016).

Estudios mencionan sobre la aplicación de fertilizantes de zinc para mejorar las concentraciones del Zn en el grano (3-4 veces) va a depender del método de aplicación. El método más eficaz para aumentar el Zn en el grano, es la aplicación al suelo y al foliar, dicho método da como resultado un aumento de aproximadamente 3,5 veces en las concentraciones de Zn en el grano en ensayos de campo de Anatolia central (Yilmaz et al., 1997).

La fertilización con zinc tuvo poco efecto en el rendimiento del grano de arroz, con la excepción de aumentos de hasta un 10% en algunos lugares de China e India. Como promedio de todos los ensayos, la aplicación de Zn aumentó el rendimiento de grano en aproximadamente un 5%. Sin embargo, las concentraciones de Zn en grano se incrementaron más eficazmente con la fertilización con Zn, especialmente con aplicaciones foliares de Zn. En promedio, la concentración de Zn en el arroz integral (cariopsis completa sin cáscara) se incrementó en un 25% y 32% en las aplicaciones foliares y foliares + Zn en el suelo, respectivamente, y solo en un 2,4% en la aplicación en el suelo (Phattarakul et al., 2012).

Se han llevado a cabo varios experimentos de campo durante los últimos 7 a 8 años en 12 países con trigo, arroz y maíz, con aplicaciones de varios fertilizantes aplicados en el suelo y las plantas. Claramente, las aplicaciones de Zn en el suelo en el momento de la siembra tuvieron poco efecto sobre la concentración de Zn en el grano en condiciones de campo, mientras que las aplicaciones foliares de Zn fueron muy efectivas para mejorar el contenido de zinc en el grano. En Turquía (Fig. 4) se realizaron estudios en los cereales, el trigo fue, con mucho, el más sensible al rociado foliar con Zn en términos de aumentos del contenido de zinc en el grano (hasta 83%). El arroz mostró una respuesta intermedia a las aplicaciones foliares de Zn y mostró aumentos moderados del contenido de zinc en el grano (hasta 27%), mientras que el maíz pareció ser menos sensible (Cakmak y Kutman, 2017).

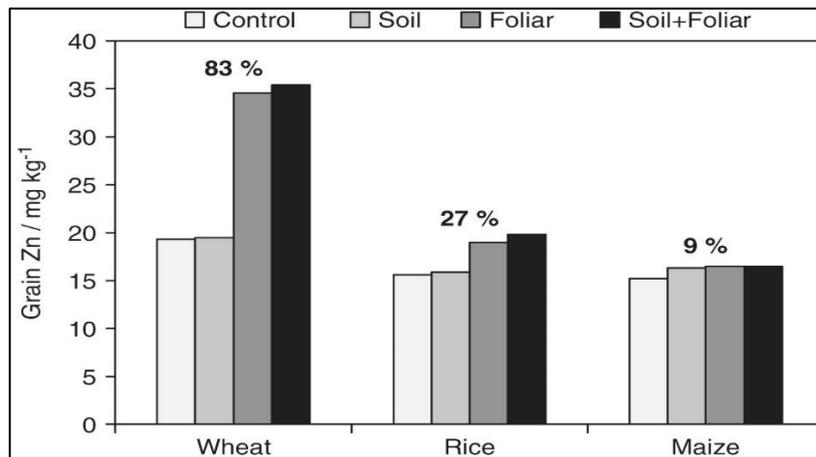


Figura 4: Cambios promedio en la concentración de Zn de grano causada por fertilización con sulfato de zinc

Fuente: Cakmak y Kutman (2017).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. LUGAR

El experimento de la investigación se ejecutó en el Instituto regional de Desarrollo de Costa (IRD-COSTA) Fundo Don Germán, de la UNALM.

3.1.1. Ubicación geográfica

Distrito	:	San Vicente de Cañete
Provincia	:	Cañete
Departamento	:	Lima.
Latitud	:	12°30' Sur
Longitud	:	76°50' Oeste
Altitud	:	31 msnm

3.2. CLIMA

Tabla 7: Registro 2018 de temperaturas y humedad relativa durante los meses del experimento

Mes	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)
	Media	Máx.	Min.	
Junio	18.5	22.3	14.7	70.2
Julio	16.8	21.2	12.3	68.7
Agosto	16.4	20.6	12.1	67.7
Septiembre	16.4	20	12.7	67.6

Fuente: Observatorio Meteorológico (T° y H.R. de Cañete).

3.3. SUELO

El campo experimental del fundo Don Germán presenta una textura Franco arcillo arenoso, con pH ligeramente alcalino, suelo muy ligeramente salino, con presencia baja de carbonatos

y bajo contenido de materia orgánica (Tabla 8). Las relaciones catiónicas revelan un contenido elevado de calcio, escaso de potasio y bajo de magnesio.

Tabla 8: Características físicas y químicas del suelo experimental

Característica	Unidad	Valor	Calificación	Método de análisis
pH (1:1)	--	7.14	Ligeramente alcalino	Potenciómetro 1:1 suelo: agua
C.E. (es)	dS/m	1.02	Muy ligeramente salino	Lectura del extracto acuoso en la relación suelo agua 1:1
CaCO ₃	%	0.30	bajo	Gas volumétrico
M.O.	%	0.75	bajo	Walkley y Black
P	ppm	11.4	medio	Olsen modificado
K	ppm	174	medio	Extracción con acetato de amonio 1N: pH 7.0
CIC	meq/100g	12		Saturación con acetato de amonio 1N: pH 7.0
Calcio	meq/100g	8.83		Absorción atómica
Magnesio	meq/100g	2.25		Absorción atómica
Potasio	meq/100g	0.47		Absorción atómica
Sodio	meq/100g	0.45		Absorción atómica
Al ⁺³ + H ⁺	meq/100g	0.00		Yuan
SUMA DE CATIONES	meq/100g	12		
SUMA DE BASES	meq/100g	12		
SAT. DE BASES	%	100		
Hierro	ppm	43.80		Absorción atómica
Cobre	ppm	3.70		Absorción atómica
Manganeso	ppm	4.80		Absorción atómica
Zinc	ppm	0.37		Absorción atómica
Boro	ppm	1.16		Absorción atómica
Plomo	ppm	33.82		Absorción atómica
Cromo	ppm	12.00		Absorción atómica
Cadmio	ppm	1.44		Absorción atómica
Azufre	ppm	0.51		Absorción atómica

Fuente: LASPAF-UNALM (ver anexo 1).

3.4. AGUA

En la tabla 9 se presenta el análisis de agua, según la clasificación Riverside (1984), el agua con 0.74 dS m⁻¹ se califica como C2 y por su RAS 1.44 menor a 3 se categoriza como S1, la clasificación C2-S1 significa media peligrosidad de salinidad y baja peligrosidad sódica. Los niveles de cloro y boro son bajos los cuales no presentan algún peligro que puede afectar a la planta en estudio.

Tabla 9: Análisis del agua

Característica	Unidad	Valor
pH	--	8.07
C.E.	dS/m	0.74
Calcio	meq/L	4.12
Magnesio	meq/L	0.98
Potasio	meq/L	0.08
Sodio	meq/L	2.30
SUMA DE CATIONES	meq/L	7.48
Nitratos	meq/L	0.00
Carbonatos	meq/L	0.00
Bicarbonatos	meq/L	2.87
Sulfatos	meq/L	2.15
Cloruros	meq/L	2.55
SUMA DE ANIONES	meq/L	7.57
Sodio	%	30.81
RAS		1.44
Boro	ppm	0.24
Hierro	ppm	0.022
cobre	ppm	0.010
Zinc	ppm	0.008
Manganeso	ppm	0.012
Plomo	ppm	0.002
Cadmio	ppm	0.011
Cromo	ppm	0.002

Fuente: LASPAF - UNALM (ver anexo 2).

3.5. TRATAMIENTOS

Se instaló 6 tratamientos por bloque, teniendo dos dosis de fertilización foliar y tres dosis de fertilización en suelo de zinc.

Tabla 10: Factores del experimento sobre el efecto de la fertilización foliar y edáfica con zinc para la biofortificación agronómica de tubérculos de papa

TRATAMIENTOS	FERTILIZACIÓN	FERTILIZACIÓN
	FOLIAR (kg ha ⁻¹)	EDAFICA (kg ha ⁻¹)
F0E0	0	0
F0E20	0	20
F0E40	0	40
F5E0	5	0
F5E20	5	20
F5E40	5	40

3.5.1. Características del campo experimental

- Unidad experimental
 - Ancho: 5 m (5 surcos)
 - Longitud: 6 m
 - Área de unidad experimental: 30 m²
 - Total de unidades experimentales: 24

- Bloque
 - Ancho: 30 m (30 surcos)
 - Longitud: 6 m
 - Área de bloque: 180 m²
 - Total de bloques: 4

- Calles
 - Ancho: 30 m
 - Largo: 5 m
 - Área total de calles: 150 m²

- Área total del experimento: 870 m²

3.6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.6.1. Muestreo de suelo y marcado del terreno

Se marcó el terreno con cal toda el área experimental. Luego se sacó muestras del suelo aleatoriamente, después se combinó y homogenizo, se sacó una porción para el respectivo análisis en laboratorio.

3.6.2. Siembra

Se sembró con las medidas de 0.3 m entre plantas y 1 m entre surcos. Colocando por golpe solo una semilla vegetativa de tubérculo.

3.6.3. Fertilización

Fuente de zinc utilizada fue sulfato de zinc heptahidratado (21 % Zn). La aplicación del fertilizante de zinc edáfico se incorporó en el surco en la siembra, al costado de la semilla

de tubérculo de papa y la fertilización de NPK, se incorporó todo el P y el 50% de N y 50% K en la siembra, en el aporque se fertilizó con el 50% de N y 50% de K (Tabla 11).

La aplicación de fertilización foliar, se empezó 44 días después de la siembra, se fraccionó en cuatro aplicaciones, a razón de 1.25 kg Zn ha⁻¹ por semana, disolviendo el sulfato de zinc en 3.5 litros de agua por tratamiento.

Tabla 11: Fuentes de fertilización utilizadas en el experimento

Fertilizante	Ley	USOS
Nitrato de amonio	33% N y 3 % P ₂ O ₅	1 y 2
Fosfato diamónico	18% N y 46% P ₂ O ₅	1
Cloruro de potasio	60% K ₂ O	1 y 2
Sulfato de magnesio	16% MgO y 13% S	1 y 2
Nitrato de potasio	13.5% NO ₃ y 45% K ₂ O	2
Sulfato de zinc heptahidratado	21% Zn	1 (suelo) y 4 (foliar)

Tabla 12: Programa de fertilización del fundo don German IRD Costa.

Fertilización del IRD en el inicio		Fertilización del IRD en el aporque	
Fertilizante	Kg/ha	Fertilizante	Kg/ha
Nitrato amonio	100	Nitrato amonio	83.3
Fosfato diamonico	350	Cloruro potasio	200
Cloruro potasio	200	Sulfato magnesio	50
Sulfato magnesio	50	Azufertil	16.6
-	-	Nitrato potasio	33.3
Estiércol de cuy	10	Estiércol de cuy	10

Fuente: IRD Costa, Fundo Don German.

3.6.4. Manejo agronómico

Las labores culturales se realizaron de acuerdo a la programación de labores del fundo IRD Costa (Tabla 13).

Tabla 13: Calendario de actividades de experimento

Fecha	Actividad	Días después de la siembra
	Marcación del terreno	
22 de mayo	Siembra y fertilización	0
4 de julio	Aporque y fertilización	43
5 de Julio	1ra aplicación foliar de ZnSO ₄	44
19 de Julio	2da aplicación foliar de ZnSO ₄	58
25 de Julio	3ra aplicación foliar de ZnSO ₄	64
01 de Agosto	4ta aplicación foliar de ZnSO ₄	71
13 de Agosto	Muestreo de hojas y tallos	83
4 de septiembre	Muestreo de hojas y tubérculos	105
20 de septiembre	Desbrozado	121
21 de septiembre	Cosecha	122

3.7. EVALUACIONES BIOMÉTRICAS Y QUÍMICAS

3.7.1. Durante el crecimiento se evaluó los siguientes parámetros:

- Cobertura

Se evaluó con un marco de tamaño de 1 m², se seleccionó de los cinco surcos por tratamiento los tres surcos centrales, luego se promedió las tres evaluaciones para obtener el porcentaje de cobertura por m².

- Altura de planta

De cada tratamiento se evaluó 10 plantas seleccionadas al azar, luego se marcaron y se evaluaron cada semana para seguir su crecimiento. Fueron medidas con wincha, no incluyendo bordes se tomaron los tres surcos centrales y descontando 0.5 m de la parte inicial y final de cada línea sembrada. Se midió desde el cuello de planta del tallo principal hasta la yema terminal.

- Número de tallos

De cada tratamiento se evaluó tres plantas seleccionadas al azar del espacio de los tres surcos centrales descontando 0.5 m de la parte inicial y final de cada línea sembrada, se retiró toda la planta y se contabilizó todos los tallos principales del tubérculo de papa.

- Peso fresco de parte aérea

Se escogió 1 planta al azar por línea, solo las tres líneas centrales, para la determinación de materia fresca o biomasa. Se cortaron al ras del suelo y se pesó en el mismo lugar.

- Peso seco de parte aérea

Las plantas escogidas en peso fresco se picaron y se seleccionó un peso de 300 g aproximado en peso fresco para secar en estufa con una temperatura de 70 °C por 2 días, luego se sacó y se procedió a pesar para así obtener el peso seco y porcentaje de materia seca de las plantas de papa.

- Concentración de zinc en hojas

A los 83 dds, se realizó el muestreo foliar de hojas del tercio medio. Se lavaron las hojas con agua destilada y se secaron a estufa a 70° C por 48h. Se pesó 2.5 g de materia seca y se digestó en húmedo con 12 ml de una mezcla de ácido nítrico y ácido perclórico en relación 5:1. Luego de la digestión por 5h, se filtró en un volumen de 50 ml. Se envió el extracto de cada muestra al laboratorio y fueron analizados por el método de absorción atómica.

3.7.2. En cosecha se evaluó los siguientes parámetros

- Número de tubérculos

Se contabilizó y clasificó por calibre todos los tubérculos cosechados del área experimental y se promedió con la cantidad de plantas sembradas para obtener número de tubérculo por planta. Para la determinación del calibre de los tubérculos cosechados se empleó la tabla 14.

Tabla 14: Descripción de calibre en base del tamaño de tubérculo de papa

Calibre	Diámetro longitudinal (cm)
Extra	>9.0
Primera	7.5 - 9.0
Segunda	6.0 – 7.5
Tercera	4.5 – 6.0
Descarte	<4.5

Fuente: Sifuentes (2012).

- Rendimiento total

Todos los tubérculos cosechados de los 3 surcos principales de los tratamientos fueron pesados.

- Rendimiento comercial

Todos los tubérculos comerciales cosechados fueron clasificados de acuerdo al calibre de tamaño extra, primera y segunda.

- Rendimiento no comercial

Todos los tubérculos no comerciales fueron clasificados de acuerdo al calibre tercera y descarte.

- Concentración de zinc en pulpa y cáscara del tubérculo.

Los tubérculos de papa fueron lavados con agua destilada, luego se extrajo la cáscara y la pulpa del tubérculo. Posteriormente fueron secadas en una estufa a 60°C para obtener el peso seco.

Para los análisis se usó 2.5g de peso seco y se digestó a 200°C en 10 ml solución de HNO₃ (65 % p/p) y HClO₄ (70 % p/p), en relación 5:1.

3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se empleó un experimento factorial 2x3 con dos factores en diseño de bloques completamente al azar (D.B.C.A.), un factor de dosis foliar y el otro de dosis edáfica,

teniendo 4 bloques (Fig. 5). Donde en cada bloque se tuvo, 2 dosis de zinc al suelo y 1 aplicación foliar y un testigo (sin fertilización con zinc).

Modelo Aditivo Lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} : Concentración de zinc en la papa para el i-ésimo dosis foliar, j-ésimo dosis edafico y k-ésimo bloque.

μ : Efecto de la media general.

α_i : Efecto del i-ésimo dosis edafico de zinc

β_j : Efecto del j-ésima dosis foliar de zinc

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción de la i-ésima dosis edafico de zinc con la j-ésima dosis foliar de zinc.

γ_k : Efecto del k-ésimo bloque

ε_{ijk} : Variable aleatoria del error experimental

Para $i = 1,2$, $j = 1,2,3$ y $k = 1,2,3,4$

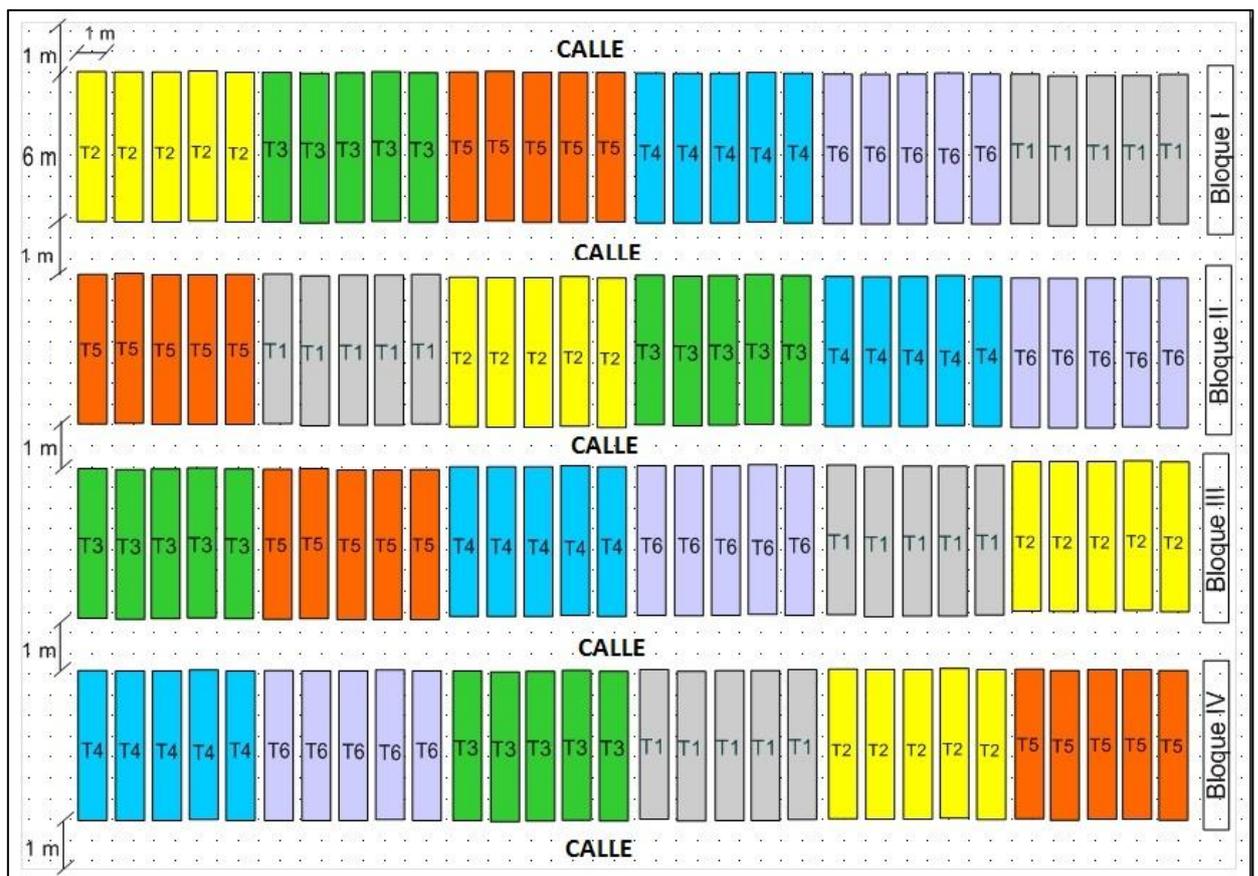


Figura 5: Esquema de los tratamientos y repeticiones en el campo experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el experimento son el contenido de zinc en hojas como también en cáscara y pulpa en tubérculos, el rendimiento total, cantidad de tallos principales, porcentaje de cobertura, altura de planta y peso seco.

4.1 EVALUACIONES BIOMÉTRICAS

4.1.1 Parte aérea de la planta

Tabla 15: Resultado de variables de parte aérea de la planta de papa

TRATAMIENTO	Altura	PF foliar (g planta ⁻¹)	PS Follaje (g planta ⁻¹)
E0 F0	54.40	321.33	53.81
E20 F0	52.30	337.62	55.16
E40 F0	53.73	348.59	57.97
E0 F5	52.70	278.16	50.40
E20 F5	52.83	287.78	52.84
E40 F5	49.98	252.04	47.42
CV (%)	10.64	20.75	16.68
EDÁFICO	n.s.	n.s.	n.s.
FOLIAR	n.s.	*	n.s.
EDÁFICOxFOFIAR	n.s.	n.s.	n.s.

NOTA: PF (Peso fresco), PS (Peso seco).

Tabla 16: Resultado del porcentaje de cobertura (%)

		Zn edáfico (kg ha ⁻¹)			
		0	20	40	
Zn foliar (kg ha ⁻¹)	0	84.59	83.75	83.33	83.89 ^a
	5	71.25	69.58	81.67	74.17 ^b
		77.92 ^a	76.67 ^a	82.50 ^a	
CV (%)		6.11			
EDÁFICO		n.s.			
FOLIAR		***			
EDÁFICOxFOFIAR		n.s.			

Tabla 17: Resultados de N° de tallos por planta

		Zn edáfico (kg ha ⁻¹)			
		0	20	40	
Zn foliar (kg ha ⁻¹)	0	2.25	2.33	2.50	2.34 ^a
	5	2.67	2.67	2.75	2.84 ^b
		2.65 ^a	2.49 ^a	2.64 ^a	
CV (%)		13.41			
EDÁFICO		n.s.			
FOLIAR		*			
EDÁFICOxFOLIAR		n.s.			

En el experimento las medias de las variables de altura y de peso seco del follaje, no presentaron diferencia significativa entre los tratamientos (Tabla 15). Sin embargo, en el porcentaje de cobertura si tiene diferencia significativa, los tratamientos de fertilización edáfica 0 kg y 20 kg ha⁻¹ con aplicación foliar presentan menores valores con respecto al resto (Tabla 16). La disminución del follaje en el ensayo podría deberse a la toxicidad en las hojas. Rout y Das (2009) menciona que los síntomas generales en toxicidad son retraso en el crecimiento del brote, rizado y enrollamiento de las hojas jóvenes, muerte de las puntas de las hojas y clorosis. Más adelante se discutirá los niveles de concentración de zinc en las hojas evaluadas.

Con respecto al número de tallos principales por planta (Tabla 17), los tratamientos sin aplicación foliar resultaron 2 tallos planta⁻¹ y los fertilizados con aplicación foliar 3 tallos planta⁻¹. Booth y Shaw (1989) indican que el número de brotes por tubérculo determina el número de tallos principales por planta, esto depende de la variedad, el tamaño del tubérculo y el grado de dominancia apical. Kumar, Meena y Singh (2016) mencionan que el zinc en las plantas ayuda en la producción de auxina, que se conoce como una importante hormona de crecimiento esencial y regula la formación de almidón en las plantas y, por lo tanto, es responsable del desarrollo adecuado de la raíz.

En la figura 6 se observa el efecto de la aplicación de zinc respecto al porcentaje de cobertura, las evaluaciones a partir de 45 hasta 71 DDS, mientras que en la figura 7 se observa el crecimiento de a partir de 44 hasta 83 DDS. El periodo fenológico del cultivo de la parte aérea se encuentra en crecimiento vegetativo de los brotes laterales llegando hasta el crecimiento reproductivo (la floración) respectivamente (MINAGRI, 2015). El promedio general de la planta que llegó en la etapa de crecimiento reproductivo es de 52.66 cm.

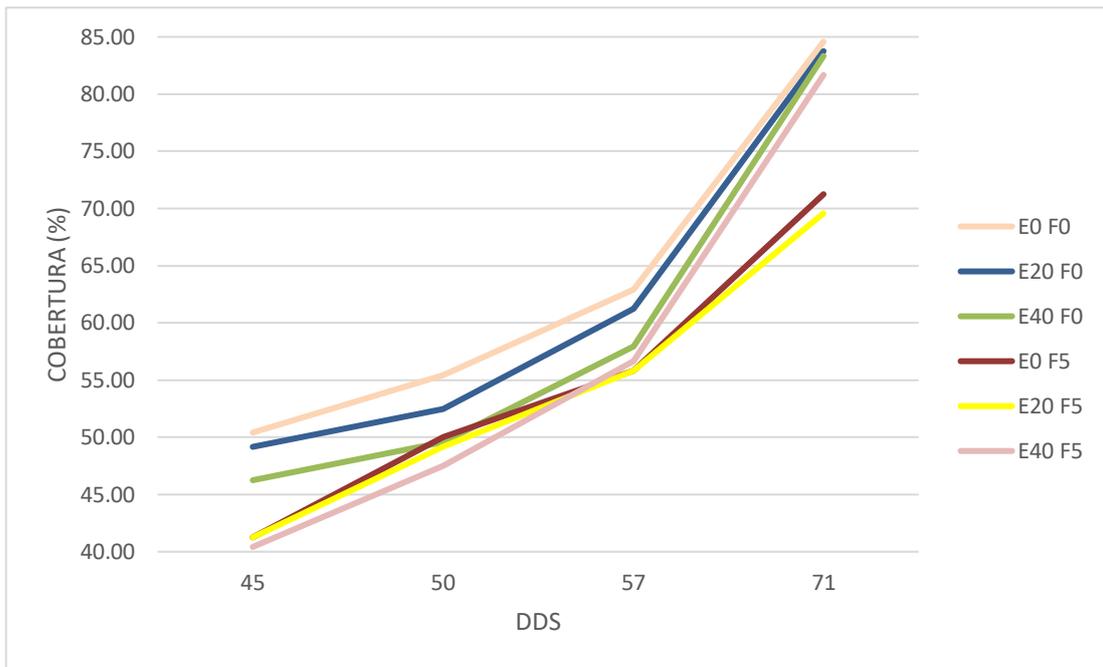


Figura 6 : Efecto de las dosis de fertilización edáfica y foliar en la cobertura.

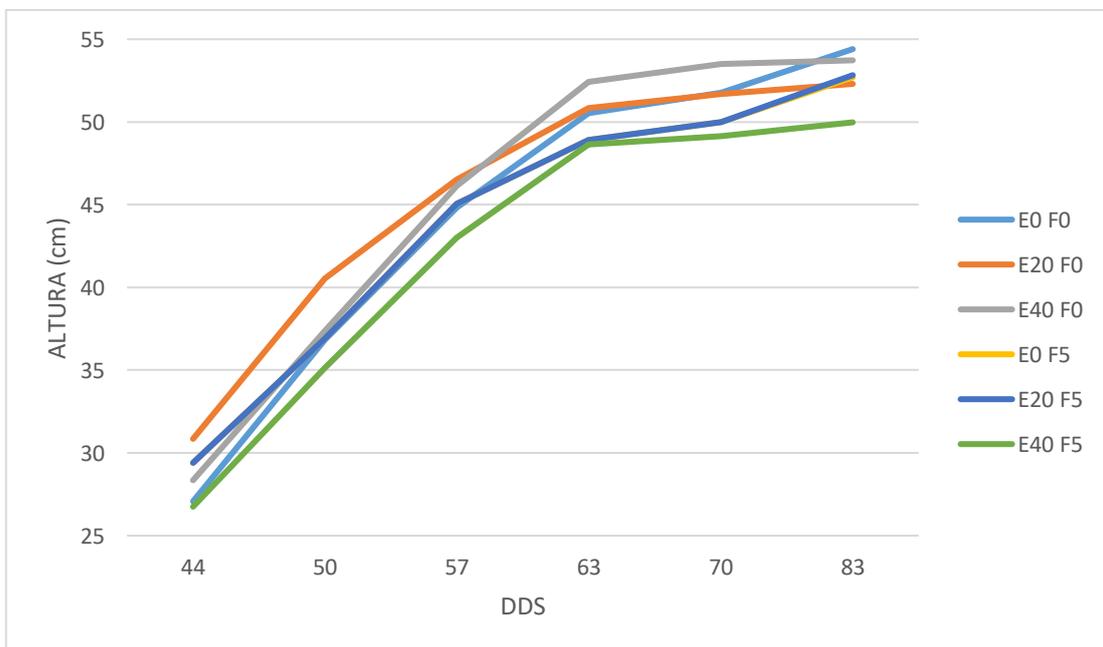


Figura 7: Efecto de la fertilización edáfica y foliar zinc de los diferentes tratamientos mostrando el promedio de crecimiento días después de siembra.

4.1.2 Partes subterránea de la planta

Tabla 18: Resultado de la aplicación edáfica y foliar sobre el número de tubérculo por planta y peso seco del tubérculo

TRATAMIENTO	Número de tubérculos (U planta ⁻¹)	PS tubérculos (g planta ⁻¹)
E0 F0	6.17	187.58
E20 F0	6.42	198.20
E40 F0	7.08	202.93
E0 F5	7.50	166.25
E20 F5	6.17	148.98
E40 F5	6.34	154.22
CV (%)	14.87	14.48
EDÁFICO	n.s.	n.s.
FOLIAR	n.s.	**
EDÁFICOxFOLIAR	n.s.	n.s.

En el análisis de varianza no se encontró diferencias significativas entre las medias de la variable de número de tubérculos por planta. En el peso seco de los tubérculos fertilizados sin aplicación foliar resultó 196.24 g planta⁻¹ y los fertilizados con aplicación foliar 156.48 g planta⁻¹ (Tabla 18), el peso fresco fue respectivamente de 1033.69 y 840.78 g planta⁻¹, el porcentaje de materia seca 18.79 y 18.61% respectivamente, el incremento de la materia seca g planta⁻¹ está relacionado al rendimiento que se mostró en el peso de tubérculo por planta.

En el resultado del porcentaje de peso seco (Fig. 8) solo en el tubérculo representa entre 18 a 20 %. Algunos estudios indican que el porcentaje promedio de agua en el tubérculo de papa es de 79 % (Frossard, 2000), mientras en Perú es de 75% de agua (MINSa, 2017). En las plantas evaluadas la materia seca del tubérculo representa del 13 a 15 % del total. El porcentaje del follaje es de menor cantidad, mientras que el agua tiene el mayor porcentaje más de 80% en la planta de papa (Fig. 9).

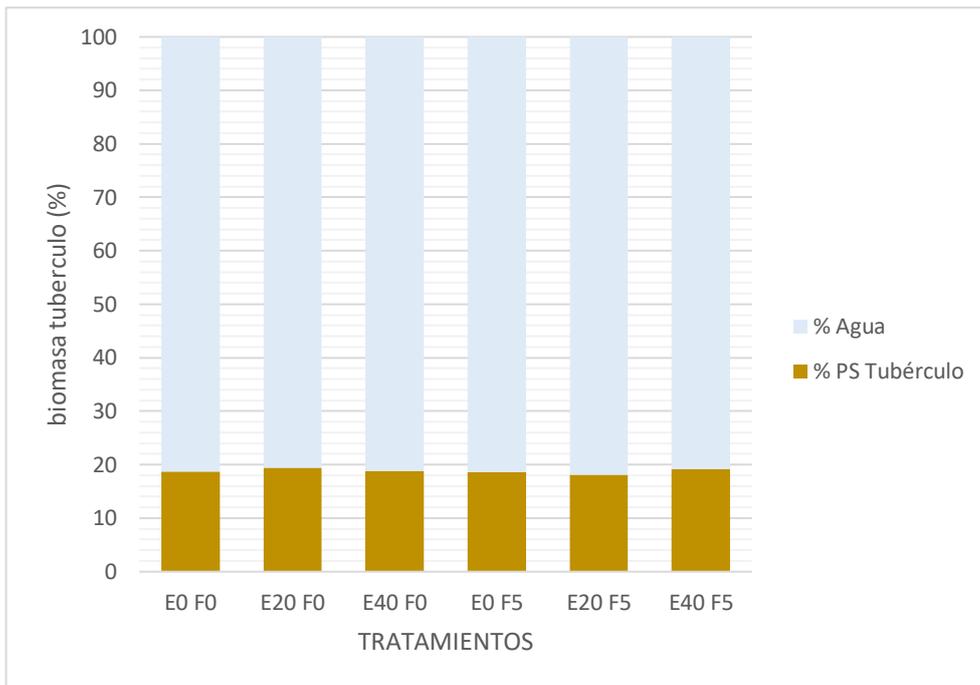


Figura 8: Porcentaje de peso seco en el tubérculo.

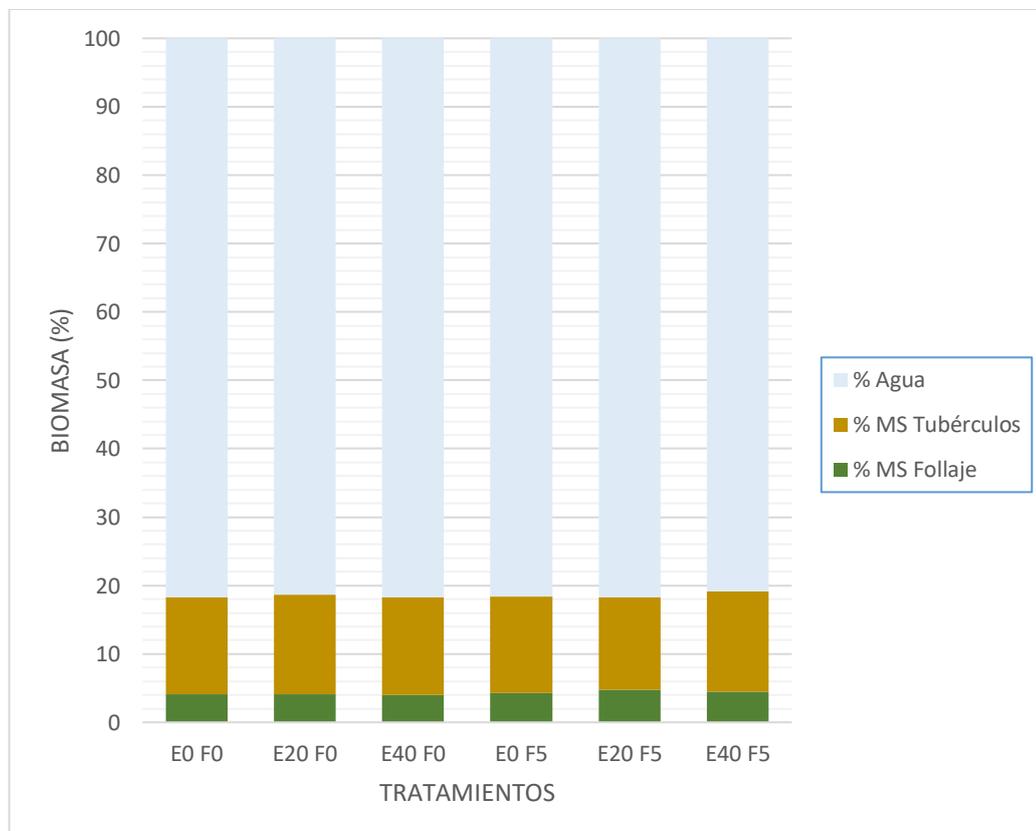


Figura 9: Distribución porcentual de agua y materia seca en la planta de papa.

4.1.3 Rendimiento

Tabla 19: Resultado de rendimiento t ha⁻¹

		Zn edáfico (kg ha ⁻¹)			
		0	20	40	
Zn foliar (kg ha ⁻¹)	0	28.00	26.96	26.33	27.10 ^a
	5	22.61	22.27	22.12	22.33 ^b
		25.30 ^a	24.61 ^a	24.23 ^a	
CV (%)		7.91			
EDÁFICO		n.s.			
FOLIAR		***			
EDÁFICOx FOLIAR		n.s.			

Tabla 20: Resultado de clasificación de los tamaños de los tubérculos en extra, primera, segunda, tercera y descarte

TRATAMIENTO	Extra t ha ⁻¹	Primera t ha ⁻¹	Segunda t ha ⁻¹	Tercera t ha ⁻¹	Descarte t ha ⁻¹
E0 F0	15.63	5.77	3.69	2.08	0.83
E20 F0	13.63	6.77	3.32	2.33	0.92
E40 F0	14.77	6.13	3.11	1.48	0.85
E0 F5	10.35	5.38	3.54	2.09	1.25
E20 F5	12.33	4.73	2.94	1.46	0.80
E40 F5	11.13	5.27	3.67	1.40	0.67
CV (%)	22.69	28.43	25.57	29.86	29.83
EDÁFICO	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
FOLIAR	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
EDÁFICOx FOLIAR	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Los tratamientos sin aplicación foliar obtuvieron 27.10 tn ha⁻¹ un mayor rendimiento respecto a los aplicados foliarmente resultando 22.33 tn ha⁻¹ (Fig. 10), el testigo sin aplicación edáfica ni foliar con zinc tuvo el valor más alto de 28 t ha⁻¹ (Tabla 19). La disminución en el rendimiento para los tratamientos con aplicación foliar podría deberse a la alta concentración de zinc, produciendo toxicidad a la planta y limitando el desarrollo,

también la disminución en el rendimiento puede atribuirse a la C.E. del agua de la primera aplicación, produciendo un estrés en la planta, luego se cambió la procedencia del agua con una C.E. de 0.51 dsm^{-1} . Broadley et al., (2007) menciona que los síntomas de toxicidad por Zn incluyen rendimientos reducidos y retraso del crecimiento, clorosis inducida por deficiencia de Fe a través de reducciones en la síntesis de clorofila y degradación del cloroplasto, e interferencia con la absorción de P, Mg y Mn.

La clasificación de los tubérculos en primera, segunda, tercera y descarte no mostraron diferencia significativa en las medias de los tratamientos (Tabla 20). Sin embargo, si hubo diferencias en la clasificación extra entre los tubérculos sin aplicación foliar resultó 14.68 t ha^{-1} y los fertilizados con aplicación foliar 11.27 t ha^{-1} .

En otras investigaciones, se evaluó el efecto de la aplicación de fertilizantes de Zn en el suelo y/o en el follaje, el tratamiento con Zn del suelo consistió en 0 y $50 \text{ kg ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O ha}^{-1}$ y el foliar aplicaron 500 a 600 litros de la solución acuosa al 0,5% (p/v) de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ por ha, aplicados en arroz cultivado en 17 ensayos de campo en China, India, Laos, Tailandia y Turquía, teniendo como resultado poco efecto en el rendimiento del grano de arroz, con la excepción de aumentos de hasta un 10% en algunos lugares de China e India (Phattarakul et al., 2012). En Reino Unido, los rendimientos de tubérculos de papa 'Maris Piper' no se vieron afectados por las aplicaciones foliares de $<1.08 \text{ g Zn planta}^{-1}$ (White et al., 2012). En el cultivo de papa en Ecuador, se realizó con tratamientos de fertilización edáfica (0, 10, 20, 30 y 40 kg Zn ha^{-1}) y foliar (0, 1.5, 2.5, 5 y 10 kg Zn ha^{-1}) en 2 localidades, los cuáles solo en una influyó en el rendimiento (Kromann et al., 2017). En Bolivia, se realizó tratamientos edáficos (0, 5, 10 y 15 kg Zn ha^{-1}), solo habiendo la influencia en el rendimiento, del tratamiento de 15 kg Zn ha^{-1} (Gabriel et al., 2015). En Perú, investigaciones en el cultivo de papa por Delgado (2015), considerando fertilización foliar $0.5\% \text{ ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O ha}^{-1}$ y fertilización al suelo 0, 20 y $50 \text{ kg ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O ha}^{-1}$, no observó en la zona costa una tendencia clara en el rendimiento. También, Gutiérrez (2018) no encuentra respuesta a las distintas fertilizaciones con zinc, sus tratamientos fueron aplicaciones de zinc al follaje (5 kg Zn ha^{-1}) e incorporaciones de zinc al suelo (0, 20 y 40 kg Zn ha^{-1}).

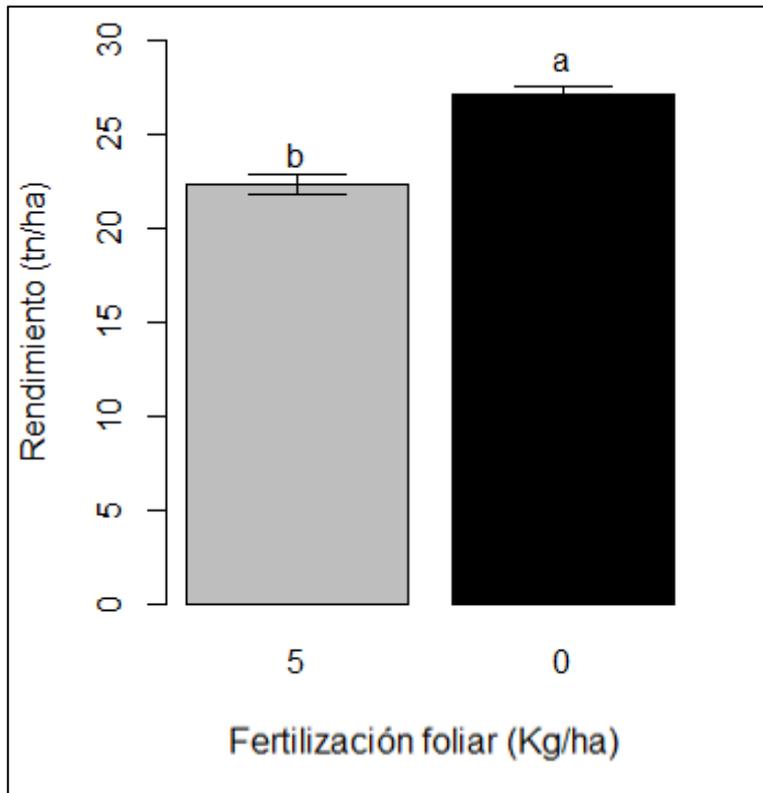


Figura 10: Efecto de la aplicación foliar de Zn en el rendimiento.

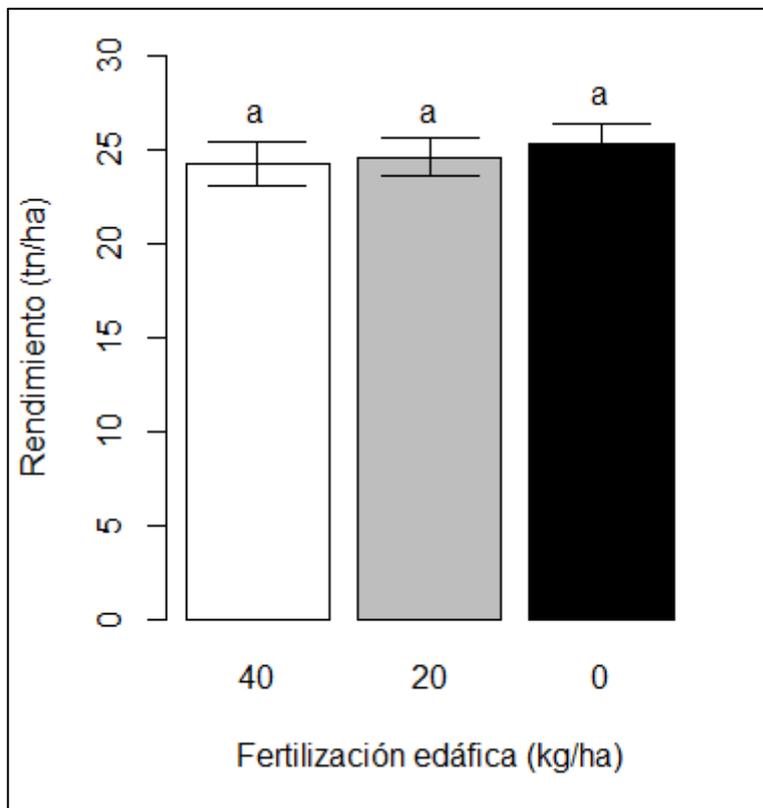


Figura 11: Efecto de la fertilización edáfica de Zn en el rendimiento.

4.2 CONCENTRACIÓN DE ZINC

Tabla 21: Concentración de zinc en hojas (mg kg⁻¹)

		Zn edáfico (kg ha ⁻¹)			
		0	20	40	
Zn foliar (kg ha ⁻¹)	0	87.40	71.73	78.65	79.26 ^a
	5	639.00	635.10	639.05	637.72 ^b
		363.20 ^a	353.41 ^a	358.85 ^a	
CV (%)					3.44
EDÁFICO					n.s.
FOLIAR					***
EDÁFICOxFOLIAR					n.s.

Tabla 22: Concentración de zinc en cascara (mg kg⁻¹)

		Zn edáfico (kg ha ⁻¹)			
		0	20	40	
Zn foliar (kg ha ⁻¹)	0	38.10	40.40	42.53	40.34 ^a
	5	41.67	45.80	48.87	45.45 ^a
		39.88 ^a	43.10 ^a	45.70 ^a	
CV (%)					24.74
EDÁFICO					n.s.
FOLIAR					n.s.
EDÁFICOxFOLIAR					n.s.

Tabla 23: Concentración de Zn en pulpa (mg kg⁻¹)

		Zn edáfico (kg ha ⁻¹)			
		0	20	40	
Zn foliar (kg ha ⁻¹)	0	12.60	13.90	16.00	14.17 ^a
	5	18.95	20.95	22.05	20.65 ^b
		15.78 ^a	17.43 ^b	19.03 ^c	
CV (%)					7.62
EDÁFICO					***
FOLIAR					***
EDÁFICOxFOLIAR					n.s.

La concentración de zinc en las hojas de los tratamientos sin aplicación foliar muestra diferencias significativa con los aplicados foliarmente los cuales muestran valores muy altos (Tabla 21). Los tratamientos sin aplicación foliar sus concentraciones de Zn en hojas (Fig. 12) no superan el 90 mg kg⁻¹. Sin embargo, los fertilizados con aplicación foliar tienen

mayor a $600 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, lo cual generaría toxicidad en la parte aérea de la planta. Bryson (2014) menciona que las hojas maduras de las solanáceas la concentración de Zn varía de 25 a 200 mg.kg^{-1} . En cultivos los síntomas de toxicidad generalmente se hacen visibles en $[\text{Zn}]_{\text{hoja}} > 300 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ peso seco (Broadley et.al., 2007). White et al. (2012) en tratamientos aplicados con zinc vía foliar fraccionados, menciona la posibilidad que parte del Zn medido en el follaje todavía estuviera presente en la superficie de la planta o en el apoplasto del brote, en lugar de dentro de las células.

La concentración de Zn en cáscara no presentó significancia en ningún de los tratamientos (Tabla 22), las concentraciones van de $38.10 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ hasta $48.87 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, el incremento de zinc respecto al testigo es de 28.3 %. Sin embargo, tienen mayor cantidad respecto a la concentración de zinc en la pulpa. Subramanian et al. (2011) menciona que la cáscara de la papa contiene aproximadamente el 17% del total de zinc del tubérculo, la distribución de los minerales varía mucho dentro del tubérculo de papa, los patrones de acumulación en los tubérculos de papa para cada mineral dependerán de un conjunto de factores que interactúan, incluida la anatomía del desarrollo del tubérculo, la carga y descarga del floema y el xilema, el movimiento a través del peridermo y los mecanismos de transporte y secuestro dentro del tubérculo. Kromann et al. (2017) menciona un incremento en las dos localidades con tratamiento foliar 82.55% y 76.04% de zinc y en la fertilización edáfica un 94.75% y 57.9% de zinc en cáscara de papa. Gutiérrez (2018), el resultado en cáscara se observa un incremento de 25.1 % de Zn.

En la concentración de Zn en la pulpa se encontró diferencia significativa en el promedio de los fertilizados edáficamente con 0, 20 y 40 kg Zn ha^{-1} aplicado al suelo, resultando 15.78, 17.43 y $19.02 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ respectivamente (Fig. 14), mostrando la mayor concentración el tratamiento de 40 kg Zn ha^{-1} aplicado al suelo, logrando un incremento de 20.53% en el contenido de zinc respecto al testigo (Tabla 23). En otras investigaciones en Perú no se encontró diferencias significativas debido a factores de pH elevado y contenido medio de CaCO_3 del suelo los cuales favorecen a disminuir la disponibilidad del zinc (Gutiérrez 2018, Delgado 2015). Alloway (2008) menciona, la disponibilidad de zinc disminuye al aumentar el pH del suelo debido al aumento de la capacidad de adsorción, la formación de formas hidrolizadas de zinc, la posible quimisorción en el carbonato de calcio y la coprecipitación en óxidos de hierro, la adsorción de zinc en el CaCO_3 también es un factor contribuyente. En Bolivia, Gabriel et al. (2015) en los tratamientos vía edáfica encontró respuesta sobre el

contenido de Zn en el tubérculo en relación con el nivel de fertilización con Zn, al aumentar las dosis de Zn en el suelo, el contenido de Zn en los tubérculos también aumenta. Kromann et al. (2017), en la fertilización solo edáfica (40 kg Zn ha⁻¹) muestra el valor más alto de 17.6 mg kg⁻¹ Zn en peso seco logrando un incremento de 91.30% de zinc en pulpa. En los tratamientos sin fertilización foliar resultó 14.17 mg Zn kg⁻¹ y los tratamientos con aplicación foliar 20.65 mg Zn kg⁻¹. White y Broadley (2011) menciona que generalmente se considera que el Zn tiene una baja movilidad en el floema, la concentración de Zn²⁺ en la savia del floema podría generar toxicidad celular, la movilidad determinará la acumulación de Zn por los tejidos alimentados con floema, como frutas, semillas y tubérculos. La concentración de zinc en hojas con tratamientos fertilizados edáficamente con fertilización foliar es excesivamente alta comparado con la pulpa.

El valor de 12.60 mg Zn kg⁻¹ el cual es como el testigo comparado con el tratamiento de fertilización edáfica de 40 kg Zn ha⁻¹ más aplicación foliar llegó a 22.05 mg kg⁻¹ logrando así incrementar, vía fertilización un 75% más el contenido de Zn en pulpa, respecto del testigo. White et al. (2012), en tratamientos foliares en cultivo de papa la relación entre la concentración de tubérculos de Zn y la aplicación foliar de Zn siguió una curva de saturación, alcanzando un máximo de aprox. 30 mg de Zn kg⁻¹ MS a una tasa de aplicación foliar de Zn de 1,08 g planta. En el cultivo de papa en costa, Gutiérrez (2018), muestra en sus resultados un incremento en el contenido de Zn en pulpa hasta un 47.7 %. En investigaciones de biofortificación, la concentración de Zn en el arroz integral se incrementó en un 25% y 32% en las aplicaciones foliares y foliares + Zn en el suelo, respectivamente, y solo en un 2,4% en la aplicación al suelo (Phattarakul et al., 2012). Cakmak y Kutman (2017) menciona un resumen sobre estudios en los cereales, el trigo fue, con mucho, el más sensible al rociado foliar con Zn en términos de incrementos en el grano (hasta 83%). El arroz mostró una respuesta intermedia a las aplicaciones foliares de Zn y mostró aumentos moderados en el grano Zn (hasta 27%), mientras que el maíz pareció ser menos sensible (hasta 9%).

Tabla 24: Extracción de zinc en el rendimiento de tubérculos (g ha^{-1})

		Zn edáfico (kg ha^{-1})			
		0	20	40	
Zn foliar (kg ha^{-1})	0	88.72	104.00	120.30	104.34 ^a
	5	115.38	115.03	126.01	118.80 ^b
		102.05 ^a	109.51 ^{ab}	123.15 ^b	
CV (%)		13.02			
EDÁFICO		*			
FOLIAR		*			
EDÁFICOxFOLIAR		n.s.			

La extracción de Zn en los tubérculos de los tratamientos sin aplicación foliar resultó $104.34 \text{ g Zn ha}^{-1}$ y los fertilizados con aplicación foliar resultó $118.80 \text{ g Zn ha}^{-1}$. También, se encontró diferencia significativa en el promedio de los fertilizados edáficamente de tratamientos 0, 20 y 40 kg Zn ha^{-1} aplicado al suelo, resultando 102.05, 109.51 y $123.15 \text{ g Zn ha}^{-1}$ respectivamente. En la tabla 24 se muestra la mayor concentración en el tratamiento de 40 kg Zn ha^{-1} aplicado al suelo.

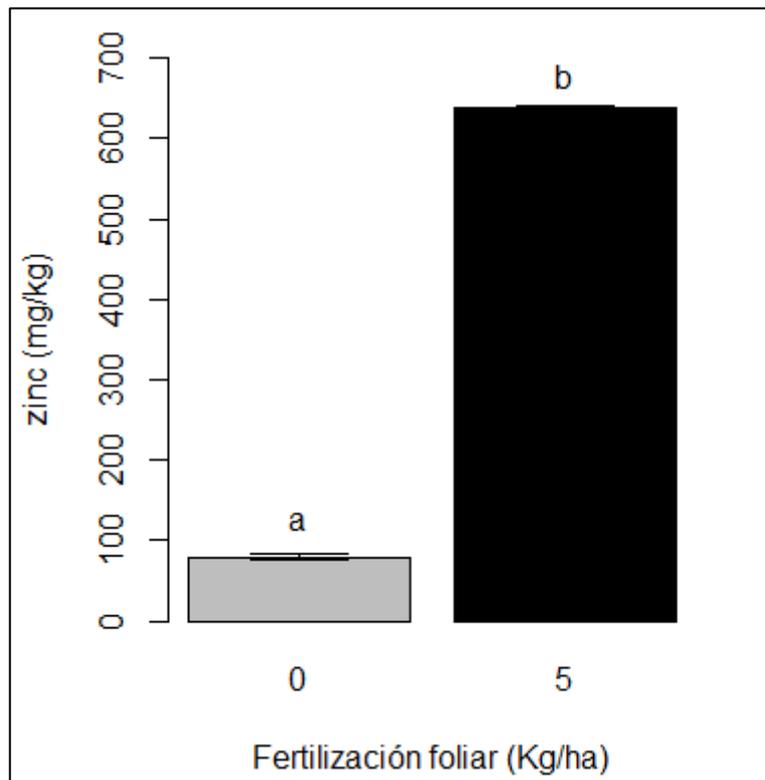


Figura 12: Efecto de fertilización foliar en la concentración de Zn en hojas.

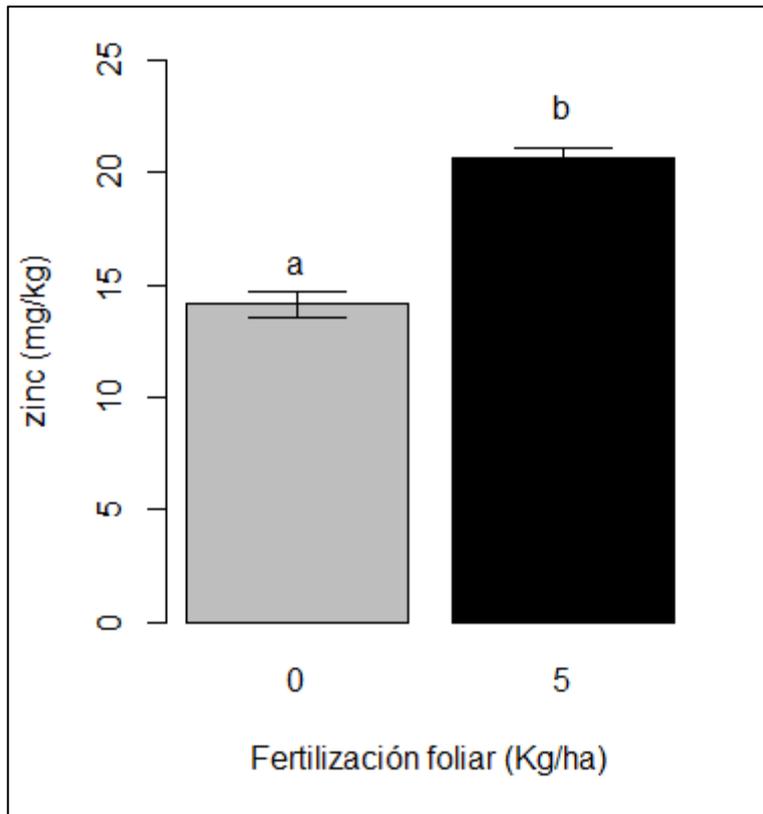


Figura 13: Efecto de fertilización foliar en la concentración de Zn en la pulpa.

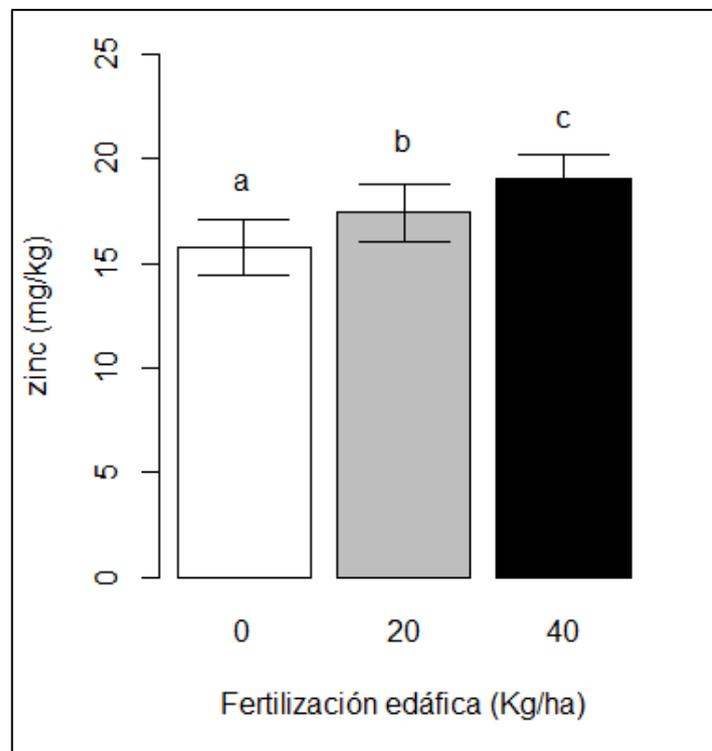


Figura 14: Efecto de fertilización edáfica en la concentración de Zn en la pulpa.

V. CONCLUSIONES

- La biofortificación agronómica sí se puede implementar en el cultivo de papa con aplicación de zinc vía foliar y edáfica al cultivo con las condiciones favorables para su absorción.
- En el rendimiento no se obtuvo un incremento con la fertilización de zinc podría deberse a un posible efecto tóxico de zinc en el follaje.
- La concentración de Zn en hojas sí se obtuvo un efecto, la aplicación de zinc vía foliar en las hojas resultó más de 600 mg kg^{-1} . El contenido de zinc en la cáscara no se obtuvo ninguna diferencia. Sin embargo, en la pulpa el tratamiento con fertilización de zinc 0 kg ha^{-1} edáfico y 0 kg ha^{-1} foliar obtuvo $12.60 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, lográndose aumentar hasta $22.05 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ con fertilización de zinc de 40 kg ha^{-1} edáfico y 5 kg ha^{-1} foliar, la aplicación de zinc sí tuvo efecto en la pulpa lográndose incrementar el contenido de zinc.
- Con respecto a las evaluaciones biométricas, la aplicación de zinc no tuvo efecto en la altura de planta. Sin embargo, en el número de tallos principales la aplicación de zinc mostró efecto de 3 tallos por planta en los tratamientos con aplicación foliar y la cobertura se mostró menor % en los fertilizados con aplicación foliar, el valor mínimo de todos los tratamientos fue de 70% de cobertura ocasionando un efecto en la parte foliar.

VI. RECOMENDACIONES

- Zonificar los suelos con contenido de zinc aptos para su absorción en distintas zonas paperas.
- Evaluación y estudio de fitatos en los cultivos lo cual no permiten la absorción de zinc en el organismo humano.
- Aplicación de zinc en otros cultivos de consumo familiar.
- Evaluación de otras dosis de zinc para tener mayor eficiencia en el programa de fertilización.
- Investigar la fertilización con distintas variedades de papa.
- Investigar el método genético en el cultivo de papa enfocándose en la biofortificación genética.
- Investigar sobre la acumulación de micronutrientes en cáscara de papa.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Alberts, B., Johnson, A., Walter, P., Lewis, J., Raff, M. y Roberts, K. (2007). *Molecular biology of the cell*, 5 ed. Taylor & Francis, Garland Science, New York. 1725 p.

Alloway, B. J. (2008). *Zinc in soils and crop nutrition*. 2 ed. International Zinc Association. Brussels, Belgium.

Barker, A. y Pilbeam, D. (2015). *Handbook of Plant Nutrition*. 2 ed. CRC Press. US. 537-555 p.

Booth, R. y Shaw, L. (1989). *Principios de almacenamiento de papa*. Editorial Hemisferio Sur. Centro Internacional de la Papa (CIP). Montevideo, Uruguay. 37-38 p.

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I. y Lux, A. (2007), Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4): 677-702p. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>

Bryson, G; Mills, H., Sasseville, D., Benton Jones, J. y Barker, A. (2014). *Plant Analysis Handbook*. 3-era ed. Athens, GA: Micro-Macro Publishing.

Cakmak, I. (2007). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. *Plant Soil* 302:1–17.

Cakmak, I. y Kutman, B. (2017). Biofortificación agronómica de cereales con zinc: una revisión. *European Journal of Soil Science*. 69: 172-180

Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. (2017). 10 edición, disponible en: <https://repositorio.ins.gob.pe/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanas2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Clemens, S., Palmgren, M. G. y Kramer, U. (2002). A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends in Plant Science* Vol.7 No. 7:309–315p. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02295-1](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02295-1)

Das, S. y Green, A. (2016). Zinc in crops and human health. Eds. U Singh; CS Praharaj; SS Singh; NP Singh. 31-40 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2716-8_3

Delgado, L. (2015). Fertilización con zinc en dos variedades de papa (*solanum tuberosum*) en suelos de costa y sierra. Tesis Ing. Agr. UNALM - Lima, Perú. pp. 30-56.

Departamento de Agricultura de los EE. UU. Servicio de Investigación Agrícola. (2006). USDA Base de Datos Nacional de Nutrientes para Referencia Estándar, Versión 19. Consultado el 14-06-19. Disponible en: <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>

Frossard, E., Bucher, M., Mächler, F., Mozafar, A. y Hurrell, R. (2000). Potencial para aumentar el contenido y la biodisponibilidad de Fe, Zn y Ca en plantas para la nutrición humana. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (7), 861-879. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<861::AID-JSFA601>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<861::AID-JSFA601>3.0.CO;2-P)

Gabriel, J., Angulo, A., Botello, R., Casazola, J. L., Velasco, J., Veramendi, S. y Rodríguez, F. (2015). Agronomic biofortificación in two native potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Latinomaericana de la Papa* 19(2): 1-17.

Gupta, N., Ram, H. y Kumar, B. (2016). Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 15(1), 89-109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9390-1>

Gutiérrez, P. (2018). Biofortificación agronómica del cultivo de papa mediante aplicación foliar y edáfica de zinc y su interacción con cadmio. Tesis Ing. Mg. Sc. Agr. UNALM - Lima, Perú. pp. 30-44.

Hartmann, A., Schmid, M., Van Tuinen, D. y Berg, G. (2009). Plant driven selection of microbes. *Plant soil* 321:235–257. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9814-y>

Hotz, C y Brown, K. (2004). Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin*, vol. 25, no. 1

INEI. (2014). INEI producción de papa. Disponible en: <https://www.inei.gov.pe/prensa/noticias/produccion-de-papa-crecio-45-7582/>

IZA y LATIZA. (2011). Zinc en los fertilizantes. La contribución a la solución de un problema nutricional mundial. *Revista Fertilizar* N° 21. p. 25-30.

Kromann, P., Valverde, F., Alvarado, S., Velez, R., Pisuna, J., Potosi, B., Taibe, A., Caballero, D., Cabezas, A., Devaux, A. (2017). Can Andean potatoes be agronomically biofortified with iron and zinc fertilizers? *Plant and Soil* 2017: 1-18. DOI: 10.1007/s11104-016-3065-0

Kumar, L., Meena, N. L. y Singh, U. (2016). Zinc Transporter: Mechanism for Improving Zn Availability. Eds. U Singh; CS Praharaj; SS Singh; NP Singh. 129-142 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2716-8_11

Loué, A. (1988). Los microelementos en agricultura. Editorial Mundi prensa. Madrid. España. 107-134 p.

Marshners, P. (2012). Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. San Diego, US. Elsevier. 212-223 p.

MINAGRI. (2015). Ficha técnica N° 01 requerimientos agroclimáticos del cultivo de papa. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/ficha01-papa.pdf>

MINAGRI. (2017). Papa: Características de la Producción Nacional y de la Comercialización en Lima Metropolitana. Disponible en: <file:///C:/Users/user3/Downloads/boletin-prod-nacional-papa.pdf>

Ministerio de Salud. (2009). Tablas peruanas de composición de alimentos. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición Instituto Nacional de Salud. Disponible en <http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tabla%20de%20Alimentos.pdf>

Ortiz, R. (2010). La biofortificación de los cultivos para combatir la anemia y las deficiencias de micronutrientes en el Perú. Programa Mundial de Alimentos 2010.

Phattarakul, N., Rerkasem, B., Li, L. J., Wu, L. H., Zou, C. Q., Ram, H., Sohu, V. S., Kang, B. S., Surek, H., Kalayci, M., Yazici, A., Zhang, F. S., Cakmak, I. (2012). Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. *Plant and Soil* 361(12):131-141. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1211-x>

Rajiv, Kavar, P. G. (2016). Enriched Potato for Mitigating Hidden Hunger. Eds. U Singh; CS Praharaj; SS Singh; NP Singh. 446-447 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2716-8_32

Rout, G. y Das, P. (2009). Effect of Metal Toxicity on Plant Growth and Metabolism: I. Zinc. *Sustainable Agriculture*. 873-884. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_53

Saeid, A. (2018). *Food biofortification technologies*. CRC Press. p.7.

Sifuentes, F. (2012). Crecimiento, producción y calidad de papa para fritura var. ÚNICA. Tesis Ing. Agr. UNALM - Lima, Perú. p. 9-12.

Steudle, E. (1994). Water transport across roots. *Plant and Soil*. 167:79–90. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01587602>

Subramanian, N., White, P., Broadley, M. y Ramsay, G. (2011). The three-dimensional distribution of minerals in potato tubers. *Annals of Botany*. 107(4), 681–691. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcr009>

Volk, N. (1993). The effect of oxidation–reduction potential on plant growth. *J Am Soc Agron* 31:665–670.

White, P. J., Bradshaw, J. E., Finlay, M., Dale, B., Ramsay, G., Hammond, J. P. y Broadley, M. R. (2009). Relationships Between Yield and Mineral Concentrations in Potato Tubers. *HortScience*. 44(1), 6-11. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.6>

White, P. J., Broadley, M. R., Hammond, J. P., Ramsay, G., Subramanian, N. K., Thompson, J., Wright, G. (2012). Bio-fortification of potato tubers using foliar zinc-fertiliser. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 87(2): 123-129. DOI: <https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512842>

White, P. J. y Broadley, M. R. (2011). Physiological limits to zinc biofortification of edible crops. *Frontiers in Plant Science*, 2: 80. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2011.00080>

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S. A. y Cakmak, I. (1997). Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *Journal of Plant Nutrition*, 20: 4-5, 461-471. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904169709365267>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de varianza del peso seco del tubérculo (g planta⁻¹).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	1120	373	0.527	0.67027
EDÁFICO	2	103	51	0.073	0.93027
FOLIAR	1	9480	9480	13.384	0.00233 **
EDÁFICO:FOLIAR	2	1019	509	0.719	0.50330
Residuals	15	10625	708		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
652.5086	18	176.3593	14.48421	57.40329

test ntr Studentized Range alpha

Tukey 6 4.49442 0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	187.5795	40.298102	4	139.800	237.853	a
20	0	198.1977	38.972415	4	140.613	223.878	a
40	0	202.9250	9.715086	4	196.382	217.382	a
0	5	166.2533	7.988324	4	159.102	159.102	a
20	5	148.9845	19.843209	4	124.274	168.999	a
40	5	154.2158	14.843061	4	132.200	164.643	a

ANEXO 2: Análisis de varianza del peso fresco del follaje (g planta⁻¹).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	3866	1289	0.285	0.8356
EDÁFICO	2	858	429	0.095	0.9101
FOLIAR	1	23956	23956	5.294	0.0362 *
EDÁFICO:FOLIAR	2	3384	1692	0.374	0.6943
Residuals	15	67871	4525		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror Df Mean CV MSD
 3985.389 18 304.2515 20.74926 141.8662

test ntr Studentized Range alpha
 Tukey 6 4.49442 0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	máx.	groups
0	0	321.3250	89.88975	4	233.667	446.613	a
20	0	337.6215	107.97666	4	222.883	480.333	a
40	0	348.5890	32.62050	4	308.837	387.633	a
0	5	278.1583	36.78498	4	229.513	316.000	a
20	5	287.7767	31.48462	4	252.140	321.647	a
40	5	252.0383	27.65306	4	223.727	282.333	a

ANEXO 3: Análisis de varianza del peso seco del follaje (g planta⁻¹).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
BLOQUE	3	150.5	50.17	0.601	0.624
EDÁFICO	2	15.1	7.56	0.091	0.914
FOLIAR	1	176.8	176.80	2.118	0.166
EDÁFICO:FOLIAR	2	79.9	39.94	0.478	0.629
Residuals	15	1252.2	83.48		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror Df Mean CV MSD
 77.92796 18 52.93083 16.67777 19.83765

test ntr Studentized Range alpha
 Tukey 6 4.49442 0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	53.8050	9.8485346	4	40.72	64.49	a
20	0	55.1625	13.1244235	4	41.67	71.33	a
40	0	57.9675	0.6727741	4	57.06	58.62	a
0	5	50.3950	8.1385769	4	40.67	58.04	a
20	5	52.8375	8.0848681	4	41.66	60.27	a
40	5	47.4175	8.1406076	4	41.32	58.88	a

ANEXO 4: Análisis de varianza del número de tubérculos por planta.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	7.500	2.4999	3.787	0.0333 *
EDÁFICO	2	1.291	0.6457	0.978	0.3988
FOLIAR	1	0.074	0.0737	0.112	0.7429
EDÁFICO:FOLIAR	2	4.722	2.3612	3.577	0.0537 .
Residuals	15	9.902	0.6601		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
0.9667347	18	6.61125	14.87202	2.209517

test	ntr	Studentized Range	alpha
Tukey	6	4.49442	0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	6.1675	0.7946645	4	5.33	7.00	a
20	0	6.4175	1.7712213	4	5.00	9.00	a
40	0	7.0825	0.5713945	4	6.33	7.67	a
0	5	7.5000	0.5773503	4	7.00	8.00	a
20	5	6.1650	0.6949580	4	5.33	7.00	a
40	5	6.3350	0.9428149	4	5.67	7.67	a

ANEXO 5: Análisis de varianza del porcentaje de cobertura.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	9.7	3.2	0.119	0.947557
EDÁFICO	2	150.9	75.4	2.762	0.095200 .
FOLIAR	1	567.3	567.3	20.774	0.000377 ***
EDÁFICO:FOLIAR	2	195.4	97.7	3.578	0.053658 .
Residuals	15	409.6	27.3		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
23.29707	18	79.0275	6.107626	10.84662

test ntr Studentized Range alpha
 Tukey 6 4.49442 0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	84.5850	5.671240	4	76.67	90.00	a
20	0	83.7500	2.847677	4	80.00	86.67	a
40	0	83.3325	7.931887	4	71.67	88.33	a
0	5	71.2500	1.594553	4	70.00	73.33	bc
20	5	69.5825	5.509673	4	63.33	76.67	c
40	5	81.6650	1.922576	4	80.00	83.33	ab

ANEXO 6: Análisis de varianza de la altura de plantas.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
BLOQUE	3	455.8	151.94	20.870	1.31e-05 ***
EDÁFICO	2	11.7	5.83	0.801	0.467
FOLIAR	1	16.2	16.17	2.221	0.157
EDÁFICO:FOLIAR	2	18.3	9.14	1.256	0.313
Residuals	15	109.2	7.28		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror Df Mean CV MSD
 31.39125 18 52.65417 10.64073 12.59064

test ntr Studentized Range alpha
 Tukey 6 4.49442 0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	54.400	4.244997	4	49.2	59.1	a
20	0	52.300	5.147815	4	47.7	59.1	a
40	0	53.725	4.980880	4	49.4	60.4	a
0	5	52.700	6.626714	4	45.0	60.7	a
20	5	52.825	6.599179	4	45.0	60.4	a
40	5	49.975	5.617458	4	44.9	56.3	a

ANEXO 7: Análisis de varianza del número de tallos principales por planta.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	0.3141	0.1047	0.895	0.4663
EDÁFICO	2	0.1238	0.0619	0.530	0.5995
FOLIAR	1	0.6801	0.6801	5.816	0.0291 *
EDÁFICO:FOLIAR	2	0.0281	0.0140	0.120	0.8878
Residuals	15	1.7538	0.1169		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
0.1148833	18	2.5275	13.41026	0.7616793

test	ntr	Studentized Range	alpha
Tukey	6	4.49442	0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	2.2475	0.1650000	4	2.00	2.33	a
20	0	2.3300	0.0000000	4	2.33	2.33	a
40	0	2.5000	0.1962991	4	2.33	2.67	a
0	5	2.6675	0.2735416	4	2.33	3.00	a
20	5	2.6675	0.7221438	4	2.00	3.67	a
40	5	2.7525	0.1650000	4	2.67	3.00	a

ANEXO 8: Análisis de varianza del Rendimiento total (kg ha⁻¹).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	35.33	11.78	5.289	0.0109 *
EDÁFICO	2	4.75	2.38	1.067	0.3689
FOLIAR	1	136.23	136.23	61.172	1.14e-06 ***
EDÁFICO:FOLIAR	2	1.42	0.71	0.319	0.7316
Residuals	15	33.41	2.23		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
3.818881	18	24.71333	7.907455	4.391488

test ntr Studentized Range alpha
 Tukey 6 4.49442 0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	28.0000	0.3810512	4	27.67	28.33	a
20	0	26.9550	2.0258743	4	24.83	29.58	ab
40	0	26.3325	2.7373634	4	23.00	29.33	abc
0	5	22.6050	2.4549338	4	19.17	25.00	bc
20	5	22.2650	0.7649619	4	21.67	23.33	c
40	5	22.1225	2.1351561	4	20.33	24.83	c

ANEXO 9: Análisis de varianza de la categoría extra del tubérculo.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	30.27	10.09	1.204	0.3422
EDÁFICO	2	0.01	0.00	0.000	0.9996
FOLIAR	1	69.50	69.50	8.292	0.0115 *
EDÁFICO:FOLIAR	2	16.02	8.01	0.956	0.4068
Residuals	15	125.71	8.38		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror Df Mean CV MSD
 8.665347 18 12.97167 22.69328 6.615104

test ntr Studentized Range alpha
 Tukey 6 4.49442 0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	15.6250	2.9043244	4	13.08	19.50	a
20	0	13.6250	2.6080197	4	11.58	17.17	a
40	0	14.7700	4.2547934	4	10.75	19.08	a
0	5	10.3525	3.2440240	4	5.58	12.58	a
20	5	12.3325	0.2445915	4	12.00	12.58	a
40	5	11.1250	2.8404988	4	8.58	14.75	a

ANEXO 10: Análisis de varianza de la categoría primera del tubérculo.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	4.04	1.346	0.471	0.707
EDÁFICO	2	0.14	0.068	0.024	0.977
FOLIAR	1	7.24	7.238	2.536	0.132
EDÁFICO:FOLIAR	2	2.89	1.444	0.506	0.613
Residuals	15	42.81	2.854		

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
2.602514	18	5.674167	28.43115	3.625269

test	ntr	Studentized Range	alpha
Tukey	6	4.49442	0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	5.7700	1.9433476	4	3.25	7.50	a
20	0	6.7725	2.3110802	4	4.67	9.75	a
40	0	6.1275	2.1257685	4	3.42	8.42	a
0	5	5.3750	0.3675595	4	5.00	5.83	a
20	5	4.7300	0.6034899	4	3.92	5.33	a
40	5	5.2700	1.2162237	4	3.75	6.33	a

ANEXO 11: Análisis de varianza de la categoría segunda del tubérculo.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	2.163	0.7211	0.961	0.436
EDÁFICO	2	0.962	0.4808	0.641	0.541
FOLIAR	1	0.001	0.0009	0.001	0.972
EDÁFICO:FOLIAR	2	0.960	0.4802	0.640	0.541
Residuals	15	11.250	0.7500		

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
0.7451681	18	3.37625	25.56775	1.939862

test ntr Studentized Range alpha
 Tukey 6 4.49442 0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	3.6900	1.0535337	4	2.42	5.00	a
20	0	3.3150	1.2770147	4	1.50	4.42	a
40	0	3.1050	0.4163732	4	2.67	3.50	a
0	5	3.5425	0.8615248	4	2.75	4.75	a
20	5	2.9375	0.3604049	4	2.42	3.25	a
40	5	3.6675	0.8275415	4	2.67	4.50	a

ANEXO 12: Análisis de varianza de la categoría tercera del tubérculo.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	0.168	0.0560	0.166	0.918
EDÁFICO	2	1.774	0.8871	2.629	0.105
FOLIAR	1	0.602	0.6017	1.783	0.202
EDÁFICO:FOLIAR	2	0.926	0.4629	1.372	0.284
Residuals	15	5.061	0.3374		

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror Df Mean CV MSD
 0.2904861 18 1.805 29.8597 1.211173

test ntr Studentized Range alpha
 Tukey 6 4.49442 0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	2.0825	0.33885838	4	1.67	2.50	a
20	0	2.3300	0.88975652	4	1.58	3.58	a
40	0	1.4775	0.15628500	4	1.25	1.58	a
0	5	2.0850	0.85473193	4	1.42	3.33	a
20	5	1.4600	0.27337398	4	1.17	1.83	a
40	5	1.3950	0.08185353	4	1.33	1.50	a

ANEXO 13: Análisis de varianza de la categoría descarte del tubérculo.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	0.3033	0.10111	1.578	0.2362
EDÁFICO	2	0.3216	0.16080	2.510	0.1147
FOLIAR	1	0.0104	0.01042	0.163	0.6925
EDÁFICO:FOLIAR	2	0.4290	0.21450	3.348	0.0628
Residuals	15	0.9610	0.06406		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
0.07023889	18	0.8883333	29.83409	0.5955695

test	ntr	Studentized Range	alpha
Tukey	6	4.49442	0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	0.8325	0.1774589	4	0.67	1.08	a
20	0	0.9175	0.1820943	4	0.75	1.17	a
40	0	0.8525	0.105317	4	0.75	1	a
0	5	1.2500	0.582466	4	0.58	2	a
20	5	0.8075	0.0801561	4	0.75	0.92	a
40	5	0.6700	0	4	0.67	0.67	a

ANEXO 14: Análisis de varianza del contenido de Zn en hojas de papa (mg kg⁻¹).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	225	75	0.447	0.723
EDÁFICO	2	385	192	1.147	0.344
FOLIAR	1	1871254	1871254	11155.108	<2e-16 ***
EDÁFICO:FOLIAR	2	150	75	0.447	0.648
Residuals	15	2516	168		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
152.3004	18	358.4875	3.44252	27.73283

test	ntr	Studentized Range	alpha					
Tukey	6	4.49442	0.05					
EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups	
0	0	87.400	17.322048	4	67.4	108.6	a	
20	0	71.725	12.156034	4	56.0	85.6	a	
40	0	78.650	10.621205	4	64.6	88.6	a	
0	5	639.000	6.048691	4	631.8	646.6	b	
20	5	635.100	3.686010	4	632.2	640.2	b	
40	5	639.050	17.406799	4	614.2	651.6	b	

ANEXO 15: Análisis de varianza del contenido de Zn en cascara de papa (mg kg⁻¹).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
BLOQUE	3	556.3	185.43	1.890	0.175
EDÁFICO	2	135.7	67.83	0.691	0.516
FOLIAR	1	156.3	156.26	1.593	0.226
EDÁFICO: FOLIAR	2	8.0	3.98	0.041	0.960
Residuals	15	1471.5	98.10		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
112.6545	18	42.89333	24.74483	23.85162

test	ntr	Studentized Range	alpha					
Tukey	6	4.49442	0.05					
EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups	
0	0	38.1000	11.186003	4	24.4	51.8	a	
20	0	40.4000	9.471360	4	28.8	52.0	a	
40	0	42.5250	12.483956	4	28.0	57.0	a	
0	5	41.6675	12.084517	4	31.2	58.6	a	
20	5	45.8000	12.523045	4	28.8	58.6	a	
40	5	48.8675	1.543446	4	47.4	51.0	a	

ANEXO 16: Análisis de varianza del contenido de Zn en pulpa de papa (mg kg⁻¹).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
BLOQUE	3	5.94	1.98	1.155	0.359476
EDÁFICO	2	42.25	21.13	12.325	0.000682 ***
FOLIAR	1	252.20	252.20	147.133	3.73e-09 ***
EDÁFICO:FOLIAR	2	1.05	0.53	0.307	0.739984
Residuals	15	25.71	1.71		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
1.758333	18	17.40833	7.617166	2.979849

test	ntr	Studentized Range	alpha
Tukey	6	4.49442	0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	12.60	1.9113695	4	10.0	14.6	a
20	0	13.90	0.7571878	4	12.8	14.4	ab
40	0	16.00	1.4142136	4	14.2	17.6	bc
0	5	18.95	1.8859127	4	17.2	21.2	cd
20	5	20.95	0.2516611	4	20.6	21.2	de
40	5	22.05	0.8386497	4	21.2	23.2	e

ANEXO 17: Análisis de varianza de la extracción de zinc en tubérculos (g ha⁻¹).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
BLOQUE	3	827.3	275.8	1.392	0.2836
EDÁFICO	2	1833.0	916.5	4.628	0.0272 *
FOLIAR	1	1255.3	1255.3	6.339	0.0237 *
EDÁFICO:FOLIAR	2	474.4	237.2	1.198	0.3291
Residuals	15	2970.6	198.0		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
210.9921	18	111.5704	13.01919	32.642

test	nt	Studentized Range	alpha
Tukey	6	4.49442	0.05

EDÁFICO	FOLIAR	Adjusted mean	std	r	min	max	groups
0	0	88.7175	11.982313	4	72.43	98.17	a
20	0	103.9950	19.641240	4	78.53	126.27	ab
40	0	120.3025	8.017873	4	112.45	129.32	ab
0	5	115.3750	13.511379	4	106.78	135.46	ab
20	5	115.0275	18.345605	4	91.83	130.11	ab
40	5	126.0050	12.377147	4	109.20	135.71	b



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

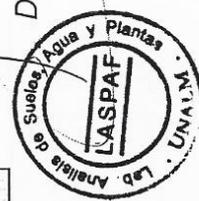
Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			CIC	Cationes Cambiables meq/100g				Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases		
								Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺				Al ⁺³ + H ⁺	
7848	Antonio Aguirre - Zona Bajo Marankiari	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

Lab	Número de Muestra Claves	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm	B ppm
7848	Antonio Aguirre - Zona Bajo Marankiari	43.80	3.70	4.80	0.37	1.60

Lab	Número de Muestra Claves	Pb ppm	Cr ppm	Cd ppm	S ppm
7848	Antonio Aguirre - Zona Bajo Marankiari	33.82	12.00	1.44	0.51

Dr. Sady Gargía Béndez
 Jefe del Laboratorio



ANEXO 19: Análisis de agua del IRD de Cañete.



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



ANALISIS DE AGUA

SOLICITANTE : PEDRO PABLO GUTIERREZ VILCHEZ

PROCEDENCIA : LIMA/ CAÑETE

REFERENCIA : H.R. 64491

No. Laboratorio	434
No. Campo	
pH	8.07
C.E. dS/m	0.74
Calcio meq/L	4.12
Magnesio meq/L	0.98
Potasio meq/L	0.08
Sodio meq/L	2.30
SUMA DE CATIONES	7.48
Nitratos meq/L	0.00
Carbonatos meq/L	0.00
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	0.010
Zinc ppm	0.008
Manganeso ppm	0.012
Plomo ppm	0.002
Cadmio ppm	0.011
Cromo ppm	0.002

La Molina, 10 de Agosto del 2018



Dr. Sady García Bendejú
Dr. Sady García Bendejú
Jefe del Laboratorio

ANEXO 20: Fotos del experimento.



Campo experimental



Siembra en IRD de Cañete.



Fertilización con NPK



Fertilización con sulfato de zinc



Campo experimental instalado.



Aplicación de azufre 19 días después de la siembra



Segunda aplicación de azufre 32 días después de la siembra



Crecimiento 32 días después de siembra



Crecimiento 46 días después de siembra



Evaluación de cobertura 72 días después de siembra



Crecimiento 73 días después de siembra



Campo experimental 106 días después de siembra.



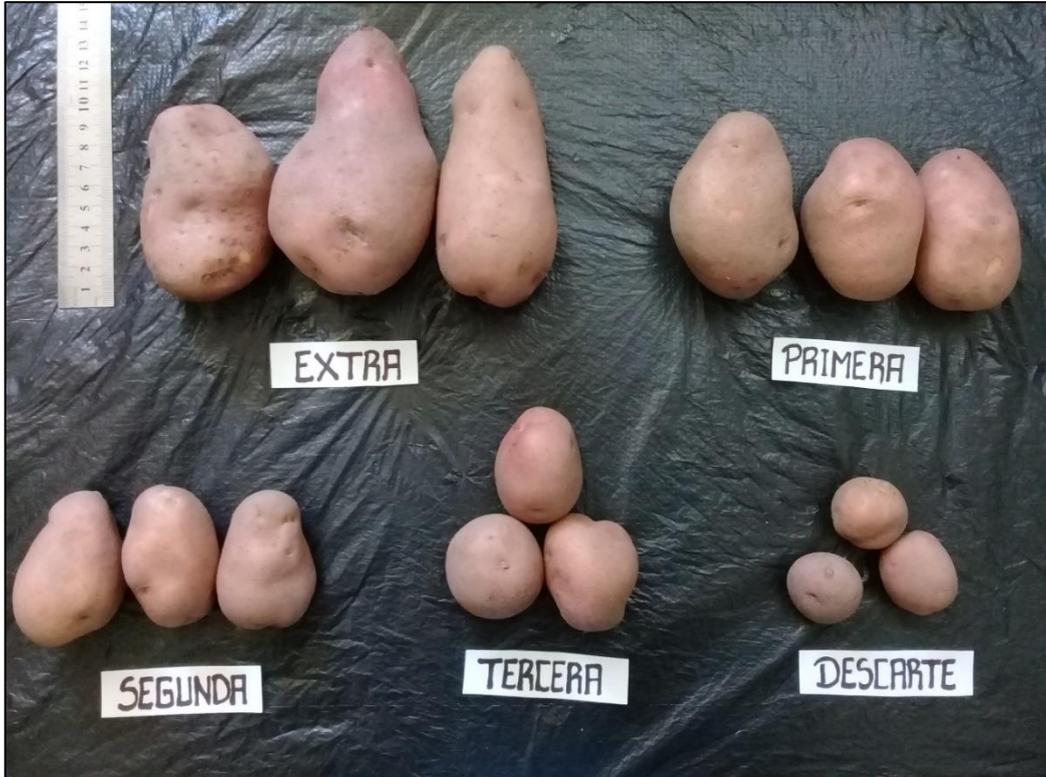
Pelado de papa



Pulpa de papa



Cosecha 122 días después de siembre



Clasificación por tamaño de tubérculo de papa.