

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE
PLANTAS**



**“GANANCIAS GENÉTICAS EN EL CONTENIDO DE HIERRO
Y ZINC EN PAPAS DIPLOIDES EN TRES CICLOS DE
SELECCIÓN RECURRENTE”**

Presentada por:

VILMA ROCIO HUALLA MAMANI

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE
PLANTAS**

Lima - Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE
PLANTAS**

**“GANANCIAS GENÉTICAS EN EL CONTENIDO DE HIERRO
Y ZINC EN PAPAS DIPLOIDES EN TRES CICLOS DE
SELECCIÓN RECURRENTE”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

VILMA ROCIO HUALLA MAMANI

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg. Sc. Rolando Egúsqüiza
PRESIDENTE

Dr. William Roca Pizzini
PATROCINADOR

Dr. Félix Camarena Mayta
MIEMBRO

Mg. Sc. Amelia Huarünga Joaquín
MIEMBRO

DEDICATORIA

En memoria de mi madre Juana Mamani que siempre fue motivo de inspiración en mi vida.

A mi padre Laureano Hualla y a mi madrina Mercedes Shapiama por su infinito amor, por darme confianza y por enseñarme que todo es posible en la vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Internacional de la Papa (CIP) y a la Dra. Merideth Bonierbale por brindarme la oportunidad de desarrollar la presente investigación.

Al Mg.Sc. Walter Amorós y a la Mg.Sc. Elisa Salas por todos sus consejos, asesoramiento durante todo el desarrollo de tesis y la amistad brindada.

A la Maestría de Mejoramiento Genético de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) por contribuir a nuestra formación profesional. Al programa de *IN VITRO*, al profesor Jorge Jiménez y Ángel Vera por todo su apoyo.

A los miembros del jurado Mg. Sc. Amelia Huaranga, Dr. Félix Camarena, Mg.Sc. Rolando Egúsquiza y a mi asesor el Dr. William Roca por su contribución y sugerencias en el presente trabajo.

Al personal del área de mejoramiento Walter Gómez, Sergio Maguiña por su apoyo en el desarrollo de Tesis.

A Rolando Arias por su colaboración en el manejo del ensayo instalado en Paucartambo.

Al personal del laboratorio de Calidad y laboratorio *IN VITRO* del CIP por su apoyo.

A Magali, Iván, Thiago, Daniela, Emma y Ascensión a quienes agradezco de una manera especial por todos los momentos compartidos, por la amistad, la confianza y por todo su apoyo.

Y a Marcelo, Sonia, María, Ruth, Ana, Jesica y Víctor que me han brindado amor, calidez de familia, impulso para continuar cuando me sentí cansada, por los ánimos y por todas sus oraciones.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICES DE ANEXOS

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA	3
2.1. GENERALIDADES SOBRE LA PAPA	3
2.2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DE LA PAPA	4
2.3. DIVERSIDAD DE PAPA CULTIVADA	4
2.4. PRODUCCIÓN DE LA PAPA EN EL PERÚ Y EL MUNDO	6
2.4.1. Producción de la papa en el mundo	6
2.4.2. Producción de la papa en el Perú	7
2.5. DEFICIENCIAS DE HIERRO Y ZINC EN PERU Y EL MUNDO	9
2.6. VALOR NUTRITIVO DE LA PAPA Y APORTES EN LA DIETA	11
2.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PAPA	12
2.8. SOLUBILIDAD Y LA ACUMULACIÓN DE MINERALES	14
2.9. SELECCIÓN RECURRENTE	17
2.10. MATERIAL GENÉTICO	20
2.10.1. Descripción de cultivares de la población base	20
2.10.2. Descripción del material del ciclo I	22
2.10.3. Descripción del material del ciclo II	23
2.10.4. Descripción del material del ciclo III	25
2.11. HEREDABILIDAD	26
2.11.1. Heredabilidad de hierro y zinc en genotipos de papa	26
2.11.2. Heredabilidad para características agronómicas y materia seca	28
2.11.3. Ganancia de selección (GS)	29
2.11.4. Consideraciones genéticas para las relaciones entre hierro y zinc	31
2.12. FACTORES AMBIENTALES	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL	34
3.1.1. Localización	34
3.1.2. Condiciones de suelo	35
3.1.3. Condiciones medio ambientales	36
3.2. MATERIALES	38
3.2.1. Material vegetal	38
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL	41
3.4. VARIABLES AGRONOMICAS EVALUADAS EN CAMPO	42
3.5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS	43
3.5.1. Análisis estadístico	43
3.5.2. Estimación de la heredabilidad	44
3.5.3. Estimación de la ganancia genética	45

3.6. METODOLOGÍA	46
3.6.1. Introducción y multiplicación <i>in vitro</i>	46
3.6.2. Manejo de las plántulas <i>in vitro</i> en el invernadero	47
3.6.3. Evaluación agronómica	48
3.6.4. Determinación del contenido de minerales fe y zn en los tubérculos	49
3.6.4.1. Preparación de la muestra	49
3.6.4.2. Método espectrometría de fluorescencia de rayos-x	50
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. DETERMINACION DE VARIANCIA ENTRE CICLOS DE SELECCION	53
4.1.1. Diferencias de medias del contenido de micronutrientes.	53
4.2. GANANCIA GENÉTICA EN EL CONTENIDO DE FE Y ZN	54
4.2.1. Ganancia genética en el contenido de hierro	54
4.2.2. Ganancia genética en el contenido de zinc	55
4.3. CONSECUENCIAS GENÉTICAS	57
4.3.1. Consecuencias genéticas en el contenido de materia seca	57
4.3.2. Consecuencias genéticas para número de tubérculos por planta	58
4.3.3. Consecuencias genéticas en el rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	59
4.3.4. Consecuencias genéticas en el peso promedio de tubérculos	60
4.4. HEREDABILIDAD EN SENTIDO AMPLIO	61
4.4.1. Heredabilidad en sentido amplio para el contenido de hierro y zinc	61
4.4.2. Heredabilidad en sentido amplio para el contenido de materia seca	63
4.4.3. Heredabilidad en sentido amplio para el número de tubérculos por planta	63
4.4.4. Heredabilidad en sentido amplio para rendimiento	64
4.4.5. Heredabilidad en sentido amplio para el peso promedio de tubérculos.	65
4.5. CORRELACIONES DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO	66
4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABILIDAD GENOTÍPICA	70
4.6.1. Variabilidad de genotipos de la población base (Ciclo 0)	70
4.6.2. Variabilidad de genotipos del ciclo II.	72
4.6.3. Variabilidad de genotipos del ciclo III.	75
V. CONCLUSIONES	80
VI. RECOMENDACIONES	81
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
VIII. ANEXOS	98

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción y superficie de los principales cultivos en el mundo (Promedios de los años 2010-2012)	6
Cuadro 2. Superficie y rendimiento de papa en algunos países del mundo (2010-2014)	7
Cuadro 3. Aporte en compuestos nutritivos de la papa en comparación con las pastas y el arroz.	12
Cuadro 4. Ubicación de colecta de los cultivares de la población base	20
Cuadro 5. Concentración de Fe y Zn (mg kg ⁻¹ en peso seco) y materia seca (%MS) de cultivares nativas de papa en Inyaya y Aymara	21
Cuadro 6. Estructura del cruzamiento del ciclo I (NCD I)	23
Cuadro 7. Resumen de datos de las concentraciones de micronutrientes (mg kg ⁻¹) y el contenido de materia seca (% MS)	23
Cuadro 8. Estructura del cruzamiento del ciclo II (NCD II); tamaño de padres y familias	24
Cuadro 9. Resumen de datos de las concentraciones de micronutrientes (mg kg ⁻¹) y el contenido de materia seca (% MS)	25
Cuadro 10. Resumen de datos de las concentraciones de micronutrientes (mg kg ⁻¹) y el contenido de materia seca (% MS)	25
Cuadro 11. Heredabilidades para componentes de rendimiento en papas tetraploides	28
Cuadro 12. Heredabilidades para calidad de tubérculos estimados en papas diploides	29
Cuadro 13. Cuadro resumen de las principales características del análisis de suelo	35
Cuadro 14. Cuadro de las principales características del análisis de guano	36
Cuadro 15. Valores promedios de temperatura (T °C), porcentajes de humedad relativa (% HR) y precipitación durante los meses de desarrollo del experimento	37
Cuadro 16. Lista de cultivares de la población base (ciclo 0)	38
Cuadro 17. Lista de genotipos de la población del ciclo II	39
Cuadro 18. Lista de genotipos de la población del ciclo III	40
Cuadro 19. Análisis de variancia para un diseño DBCA	44
Cuadro 20. Análisis de varianza del experimento con genotipos evaluados en cada ciclo en una localidad	44
Cuadro 21. Lista de productos usados en el manejo de campo	48
Cuadro 22. Análisis de variancia para las variables de micronutrientes (hierro, zinc), el contenido de materia seca y los componentes de rendimiento.	52
Cuadro 23. Diferencias de medias del contenido de micronutrientes, materia seca y componentes de rendimiento.	53
Cuadro 24. Parámetros genéticos para el contenido de Fe	54
Cuadro 25. Parámetros genéticos para el contenido de Zn	55
Cuadro 26. Parámetros genéticos para el porcentaje de materia seca	57
Cuadro 27. Parámetros genéticos para el número de tubérculos por planta	58
Cuadro 28. Parámetros genéticos en el rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	59
Cuadro 29. Parámetros genéticos para el peso promedio de tubérculos	60

Cuadro 30. Componentes genéticos y heredabilidad para las concentraciones de hierro y zinc _____	62
Cuadro 31. Heredabilidad en el contenido de materia seca en los ciclos 0, II y III _____	63
Cuadro 32. Heredabilidad en el número de tubérculos por planta en los ciclos 0, II y III _____	64
Cuadro 33. Heredabilidad en sentido amplio para el rendimiento en la población ciclo 0, ciclo II y ciclo III _____	65
Cuadro 34. Heredabilidad en sentido amplio para el peso promedio de tubérculos en papas diploides en los ciclos 0, II y III _____	66
Cuadro 35. Tabla de correlaciones para las variables en estudio a partir del coeficiente de Pearson. _____	67
Cuadro 36. Análisis de variancia para genotipos del ciclo 0 _____	70
Cuadro 37. Pruebas de comparación de medias para genotipos del ciclo 0 según la prueba de Tukey _____	71
Cuadro 38. Análisis de variancia para genotipos del ciclo II _____	73
Cuadro 39. Pruebas de comparación de medias para genotipos del ciclo II según la prueba de Tukey. _____	73
Cuadro 40 Análisis de variancia genotipos del ciclo III _____	75
Cuadro 41. Pruebas de comparación de medias para genotipos del ciclo III según la prueba de Tukey _____	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de papa en Perú durante los años 2004 a 2013 (Miles de Toneladas)	8
Figura 2. Departamentos con mayor rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de papa, promedios del periodo 2002 - 2012.	9
Figura 3. Consumo de papa por persona en g por día.	10
Figura 4. Porcentaje de aporte de una porción de 175 g de papa (2 tubérculos medianos) al total diario requerido	11
Figura 5. Progreso genético de la población original con dos ciclos de selección recurrente ($X_2 > X_1 > X_0$) manteniendo su variabilidad genética.	18
Figura 6. Efectos del pH en la disponibilidad de nutrientes y otros elementos en el suelo	33
Figura 7. Mapa de ubicación de la parcela de experimentación en Aco, Paucartambo	34
Figura 8. Temperatura del ambiente durante los meses de mayo a octubre en Paucartambo	37
Figura 9. Croquis del campo en la siembra de Paucartambo	41
Figura 10. Conteo del número de tubérculos en la cosecha	42
Figura 11. Introducción y multiplicación <i>IN VITRO</i>	46
Figura 12. Manejo de plántulas <i>IN VITRO</i> en Invernadero.	47
Figura 13. Procedimiento de las muestras para liofilización.	50
Figura 14. Procedimiento de las muestras por la lectura de XRF	51
Figura 15. Ganancia genética en el contenido de hierro de los ciclos de selección (ciclo III > ciclo II > ciclo 0)	54
Figura 16. Ganancia genética en el contenido de zinc de los ciclos de selección (ciclo III > ciclo II > ciclo 0)	55
Figura 17. Consecuencias genéticas para el contenido de materia seca a través de los ciclos de selección (ciclo III < ciclo II < ciclo 0)	58
Figura 18. Consecuencias genéticas para el número de tubérculos por planta a través de los ciclos de selección (ciclo III < ciclo II < ciclo 0)	59
Figura 19. Consecuencias genéticas para rendimiento de tubérculos a través de los ciclos de selección (ciclo III < ciclo II < ciclo 0)	60
Figura 20. Progreso genético del peso promedio de tubérculos (g) a través de los ciclos de selección (ciclo III > ciclo II > ciclo 0).	61
Figura 21. Fotos de la población 0 después de la cosecha	72
Figura 22. Fotos de la población II después de la cosecha	74
Figura 23. Fotos de la población III después de la cosecha	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Suelo _____	98
Anexo 2. Análisis de Materia orgánica de la muestra de guano _____	99
Anexo 3. Datos crudos de micronutrientes y de componentes de rendimiento _____	100

RESUMEN

Se diseñó e implementó un esquema de selección recurrente en el Centro Internacional de la Papa (CIP) para aumentar las concentraciones de hierro (Fe) y zinc (Zn) en los tubérculos de papas diploides de *Solanum tuberosum* de los grupos *stenotomum*, *goniacalyx* y *phureja*. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la ganancia genética (GG) en el contenido de los micronutrientes Fe y Zn, determinando la heredabilidad en sentido amplio y sus relaciones con variables agronómicas de importancia. El ensayo se instaló en la localidad de Paucartambo, Perú, con 60 genotipos de 3 ciclos de selección recurrente (17 = ciclo 0, 21 = ciclo II, 22 = ciclo III), bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 4 repeticiones. La determinación del contenido de Fe y Zn fue realizado en CIP - La Molina, Lima mediante el método de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X (XRF). Los resultados de GG para el contenido de Fe fluctuaron entre 15.11 y 33.73 % (ciclo 0 a ciclo III respectivamente), con altas heredabilidades en sentido amplio ($H^2 = 0.93$ y 0.95); la GG para Zn fluctuaron entre 11.06 y 26.6 %, con $H^2 = 0.81$ a 0.89 . Ambos micronutrientes mostraron correlaciones positivas ($r = 0.41$ a 0.68 , $p < 0.01$), sin embargo, cuando se correlacionó con materia seca los resultados fueron negativos ($r = -0.01$ a -0.36 , $p > 0.05$). Las heredabilidades en sentido amplio para rendimiento de tubérculos, fluctuaron entre 0.63 y 0.85, mostrando correlaciones positivas para el número de tubérculos por planta y el peso promedio de tubérculos ($r = 0.34$ a 0.50). Los genotipos de cada ciclo, con altos contenidos de Fe y Zn, mostraron rendimientos que variaron entre 9.4 y 28.3 t ha⁻¹. El contenido de Fe en el ciclo III varió entre 27 y 39 mg kg⁻¹ y para zinc 17.68 y 28.96 mg kg⁻¹ en base de peso seco, con un rendimiento de 18 t ha⁻¹. En conclusión, los resultados muestran un progreso importante en el mejoramiento genético para el contenido de Fe y Zn, en papas diploides, a través de la selección recurrente.

Palabras clave: ganancia genética, heredabilidad, selección recurrente, rendimiento de tubérculos, micronutrientes.

ABSTRACT

A recurrent selection scheme was designed and implemented at the International Potato Center (CIP) to increase the concentrations of iron (Fe) and zinc (Zn) in diploids potato tubers from *Solanum tuberosum* groups: *stenotomum*, *goniocalyx* and *phureja*. The purpose of this work was to evaluate the genetic gain (GG) in Fe and Zn micronutrient content, by determining the broad-sense heritability and relationships to important agronomic variables. The trial was installed in Paucartambo, Junin, Peru using 60 genotypes in 3 recurrent selection cycles (17= cycle 0, 21 = cycle II, 22 = cycle III), in a Randomized Complete Block Design, with four replicates. Fe and Zn determinations were conducted in CIP-La Molina, Lima, using the X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF) method. Genetic gain (GG) results for Fe content varied from 15.11 to 33.73 % (cycle 0 to cycle III, respectively), with broad-sense high heritability ($H^2 = 0.93$ and 0.95); GG for Zn varied between 11.06 and 26.6 %, with $H^2 = 0.81$ and 0.89 . Both micronutrients showed high positive correlation ($r = 0.41$ to 0.68 , $p < 0.01$) when analyzed on a dry-weight basis. However, correlations with dry matter content were negative (-0.01 to -0.36 , $p > 0.05$). Broad-sense heritability estimates for tuber yield varied between 0.63 and 0.85, showing positive correlations for tuber number per plant and for average tuber weight ($r = 0.34$ to 0.50). Genotypes from each cycle, with high Fe and Zn contents, showed yields varying between 9.4 and 28.3 t ha⁻¹. In cycle III, Fe content varied between 27 and 39 mg kg⁻¹ and for Zn varied between 17.68 and 28.96 mg kg⁻¹ in dry-weight basis, with 18 t ha⁻¹ tuber yield. In conclusion, the results showed an important progress in potato breeding of Fe and Zn content through recurrent selection of diploid potatoes.

Key words: Genetic gain, heritability, recurrent selection, yield tuber, micronutrient.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la papa (*Solanum tuberosum*) ha llegado a constituirse en el alimento principal ocupando el 4to lugar después del trigo, del arroz y del maíz, porque posee muchas ventajas agronómicas y alimenticias (Horton, 1992), alcanzando una producción de 370 millones de toneladas y cubriendo aproximadamente 19.81 millones de hectáreas cultivadas con un rendimiento global de 18 t/ha (Egúsquiza, 2014; FAOSTAT, 2016). La papa, es una planta alimenticia superior a otros cultivos en la producción de proteínas, energía y minerales (Estrada, 2000; Woolfe, 1987).

En el Perú las deficiencias de hierro y zinc se encuentran entre las principales causas de la desnutrición, de acuerdo a las últimas encuestas realizadas la desnutrición en los niños menores a cinco años en el área urbana pasó del 23.3 % a 19.2 % en el período 1999 al 2006, mientras que en el área rural pasó de 42.8 % a 35.5 %. Estas cifras evidencian que las enfermedades carenciales de los niños/as es mayor en las zonas rurales que en las zonas urbanas (Calero y Molina, 2010) y se deben principalmente al tipo de alimentación que reciben, basada en arroz, maíz, trigo y papa, con lo que difícilmente llegan a cubrir los requerimientos de micronutrientes que necesitan. Burgos *et al.*, 2007 indican que en el Perú el promedio de consumo de papa en la dieta es de 200 g al día.

El Grupo Consultivo en Investigación agrícola Internacional (CGIAR), estableció el Programa Harvest Plus, con el fin de incluir en la investigación agrícola el mejoramiento de los alimentos básicos para calidad nutricional y entregarlos a los países más pobres. El trabajo de HarvestPlus busca reducir la desnutrición y mejorar la seguridad alimentaria nutricional en Latinoamérica y el Caribe (ALC) mediante el consumo de cultivos biofortificados y de los productos alimenticios basados en esos cultivos. Existen alrededor de 12 centros de CGIAR que están trabajando en procesos de biofortificación de varios cultivos como maíz, arroz, yuca y papa.

Es así como el Centro Internacional de la Papa (CIP) desde el 2008 con el fin de contribuir a la reducción de la malnutrición por deficiencia de micronutrientes, inició trabajos de

mejoramiento genético para incrementar los niveles de micronutrientes esencialmente hierro y zinc a través de la biofortificación de papa utilizando una población base de papas diploides cultivadas de los grupos taxonómicos *stenotomum*, *goniocalyx* y *phureja*, a través de métodos de selección recurrente que permite un aumento gradual de la frecuencia de genes favorables de la población.

Se ha utilizado la selección recurrente exitosamente en muchos programas de mejoramiento de papa para diversas características que tienen mediana y alta heredabilidad (Mendoza y Jatala, 1982; Mendoza, 1985; Mendoza, 1987; Capezio *et al.*, 1993; Landeo *et al.*, 1995; Gabriel *et al.*, 2001; Landeo, 2005; Gástelo *et al.*, 2010; Bradshaw, 2005; Benites y Pinto, 2011 y Paget *et al.*, 2014).

Los clones avanzados con altos contenidos en micronutrientes (hierro y zinc) pueden ser difundidos y promovidos como variedades que ayudarán a mitigar los efectos de la desnutrición por deficiencia de hierro y zinc en las diversas zonas de nuestro país y del mundo.

El propósito del presente trabajo es estimar la ganancia genética para los contenidos de hierro y zinc en los ciclos 0, II y III en papas diploides en la localidad de Paucartambo, Pasco durante el 2015.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Determinar la heredabilidad en sentido amplio de las concentraciones de hierro y zinc a través de los ciclos de selección.
- Evaluar la ganancia genética para las concentraciones de hierro y zinc en los diferentes ciclos de selección.
- Determinar las correlaciones entre las variables de estudio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES SOBRE LA PAPA

Huamán (1980), menciona que la papa es una dicotiledónea herbácea, con hábitos de crecimiento rastrero o erecto, generalmente de tallos gruesos, con entrenudos cortos. Los tallos son huecos o medulosos, excepto en los nudos que son sólidos, de forma angular y por lo general verdes o rojo púrpura.

El follaje normalmente alcanza una altura de 0.60 a 1.50 m. Las hojas son compuestas y pinnadas. Las hojas se ordenan en forma alterna a lo largo del tallo, dando un aspecto frondoso al follaje, especialmente en las variedades mejoradas. Las flores nacen en racimos y por lo regular son terminales, son pentámeras (poseen cinco pétalos) y sépalos que pueden ser de varios colores, pero comúnmente blanco, amarillo, rojo y púrpura. El fruto es una pequeña y carnosa baya de forma redonda u ovalada, que contiene semillas sexuales y su color es verde amarillento o castaño rojizo. Los tubérculos son tallos carnosos que se originan en el extremo del estolón, tiene yemas y ojos.

Para la FAO (2008), la papa (*Solanum tuberosum L.*) es una planta herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce tubérculos, con un contenido abundante de almidón, asimismo la papa ocupa el tercer lugar mundial en importancia como alimento, después del trigo y el arroz. La papa es un alimento, muy nutritivo que desempeña funciones energéticas debido a su alto contenido en almidón, así como funciones reguladoras del organismo por su elevado contenido en vitaminas hidrosolubles, minerales y fibra. Además, tiene un contenido no despreciable de proteínas, presentando éstas un valor biológico relativamente alto dentro de los alimentos de origen vegetal (Burgos *et al.*, 2007).

2.2 TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DE LA PAPA

Según Hawkes (1992), la clasificación taxonómica de papa es la siguiente:

División: Fanerógamas

Subdivisión: Angiospermas

Clase: dicotiledóneas

Subclase: Simpétala

Sección: Anisocárpeas

Orden: Tubifloríneas

Familia: Solanaceae

Género: Solanum L.

Sección: Petota

Series: 18 series

Especie: 8 especies cultivadas y aprox. 152 especies silvestres Hawkes, (1992), 1 especie *S. tuberosum* con 8 grupos taxonómicos según Huamán y Spooner, (2002), 4 especies con 2 grupos en *S. tuberosum* según Spooner *et al.*, 2007.

2.3 DIVERSIDAD DE PAPA CULTIVADA

Huamán y Spooner, (2002) clasificaron a todos los cultivares nativos de las papas cultivadas como una sola especie *S. tuberosum*, con ocho grupos cultivados: Ajanhuiri, Andigena, Chaucha, Chilotanum, Curtilobum, Juzepczukii, Phureja y Stenotomum. La subsp. *Goniocalyx* fue incluida dentro del grupo.

Spooner *et al.*, (2007) clasificaron las papas nativas en cuatro especies: *S. ajanhuiri* (diploide), *S. juzepczukii* (triploide), *S. curtilobum* (pentaploide) y *S. tuberosum* L., con dos grupos cultivados: Andigena (Andigenum) y Chilotanum; en el primero se incluyen todas las papas andinas, tanto diploides como tetraploides, que crecen a lo largo de los Andes desde Venezuela hasta Argentina, y el segundo está conformado por las papas adaptadas a día largo, que crecen en las tierras bajas del centro y sur de Chile, incluyendo las islas del archipiélago de los Chonos (Huamán y Spooner, 2002; Ames y Spooner, 2008; Ghislain *et al.*, 2009).

Grupos de papas cultivadas diploides: (2n=24)

Grupo stenotomum, se distingue, de manera fácil e inconfundible por la forma típica del tubérculo, aunque varía de redondo a cilíndrico, delgado a grueso, posee en todos los casos enunciados, gran número de yemas, profundas, estrechas, con tuberosidades muy pronunciadas, dando el aspecto, según Hawkes de “concertina”. El color de los tubérculos es variado, según las variedades pueden ser blanco, amarillo, rosado, etc. Es susceptible a virosis, más común que en las otras especies; al igual que al hongo *Alternaria solani* y a la larva de *Premnotrypes solani* (Vargas, 1949; Hawkes, 1990).

Solanum goniocalyx fue incluida dentro del grupo Stenotomun (Huamán y Spooner, 2002) comúnmente llamada “papa amarilla” o “ckello papa” en la zona central del Perú; tiene una distribución geográfica amplia tan vasta como *Solanum tuberosum subsp. andigena*. Los caracteres de forma, color del tubérculo, así como el color de la carne, de un amarillo típico, hacen a esta especie, bastante diferente de las demás. Añadiendo a esto los caracteres de otros órganos vegetativos y de los reproductores; siendo el color de la corola blanco crema pálida (Vargas, 1949; Hawkes, 1990).

Grupo phureja, poseen considerable resistencia a varios estreses bióticos tales como tizón tardío (*Phytophthora infestans*), marchites bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), nematodos (*Meloidogyne incognita*) y virus (Virus X e Y de la papa), así como a estreses abióticos. Presenta hojas insertas al tallo en ángulo agudo, folíolos estrechos y producen tubérculos con buenas propiedades culinarias (Vargas, 1949; Hawkes, 1990). Y presenta ausencia de dormancia (Huamán y Spooner, 2002).

Grupo ajanhuiri, las primeras colectas taxonómicas la realizaron en el altiplano por encima de la ciudad de La Paz (3800-4100 msnm). También conocida como "Ajawiri" en Aymara. Poseen plantas arrosetadas y hojas poco pilosas. Presentan resistencia a heladas (Hawkes, 1990).

Los grupos *stenotomun*, *phureja* y *ajanhuiri*, son diploides fértiles. La herencia de sus caracteres es disómica. Sus gametos son haploides (12 cromosomas). Solo se cultivan en algunos países andinos y es muy importante en mejoramiento genético (Huamán, 1980).

2.4 PRODUCCIÓN DE LA PAPA EN EL PERÚ Y EL MUNDO

2.4.1. PRODUCCIÓN DE LA PAPA EN EL MUNDO

Los cuatro cultivos de mayor volumen de producción en el mundo son el maíz, arroz, trigo y la papa (**Cuadro1**).

Cuadro 1. Producción y superficie de los principales cultivos en el mundo (Promedios de los años 2010-2012)

Cultivos	Producción (Millones de toneladas)	Superficie (Millones de ha)
Maíz	870.41	171.24
Arroz	715.95	162.82
Trigo	673.29	217.59
Papa	357.49	19.04

FUENTE: Egúsquiza, 2014

En los últimos años en el mundo se ha sembrado entre 18 y 19 millones de hectáreas de papa con una producción de 360 a 370 millones de toneladas con un rendimiento global de 18 t ha⁻¹ (Egúsquiza, 2014). China tiene una de las mayores superficies sembradas de papa con un rendimiento de 15.9 t ha⁻¹, Alemania y Estados Unidos tienen un rendimiento de 43 y 45 t ha⁻¹ respectivamente (**Cuadro2**).

Cuadro 2. Superficie y rendimiento de papa en algunos países del mundo (2010-2014)

Continente	País	Rendimiento t/ha	Superficie (Miles de ha)
América del Sur	Argentina	29.5	69.1
	Brasil	27.1	136.5
	Chile	24.8	48.9
	Colombia	17.9	106.7
	Perú	14.1	306.6
	Ecuador	8.9	41.0
	Bolivia	5.5	188.8
Centro América	Costa Rica	23.7	2.7
	México	27.0	59.9
	Cuba	21.5	6.0
Norte América	EEUU	45.9	429.9
	Canadá	31.5	142.0
	Polonia	22.3	377.5
Europa	Alemania	43.5	248.0
	Ucrania	15.9	1407.2
Asia	China	16.6	5484.1
	India	22.0	1924.3
África	Kenia	18.1	131.2
	Malawi	16.8	244.9
	Mozambique	13.7	14.6
	Nepal	13.6	192.2
Oceanía	Australia	37.3	32.9
	Nueva Zelanda	48.2	10.8

FUENTE: FAOSTAT 2016.

2.4.2. PRODUCCIÓN DE LA PAPA EN EL PERÚ

El Instituto Nacional de Estadística e Informática dio a conocer que la producción de papa entre los años 2004-2013, se incrementó de 3 millones 8 mil toneladas en el año 2004 hasta alcanzar los 4 millones 571 mil toneladas métricas en el 2013 (**Figura1**) (INEI, Prensa 2014).

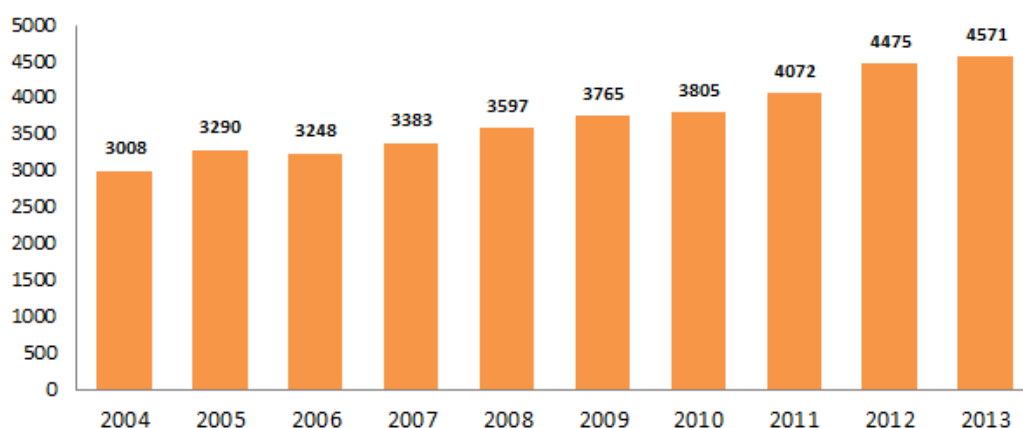


Figura 1. Producción de papa en Perú durante los años 2004 a 2013 (Miles de Toneladas).

FUENTE: Ministerio de Agricultura y Riego (INEI, Prensa 2014).

Asimismo, el área sembrada con papa en el Perú en la campaña 2003-2004 fue de 261.1 mil ha, pero ascendió en la campaña 2012-2013 a 323.3 mil ha (Egúsquiza, 2014).

La papa se siembra en 19 departamentos del Perú, desde la sierra de Piura, Cajamarca y Amazonas en el norte hasta el altiplano de Puno y sierra de Tacna en el sur, adaptándose a amplias condiciones ambientales como punas, valles interandinos y costeros (Egúsquiza, 2014).

Durante los últimos 10 años se ha observado que los departamentos de Lima, Arequipa e Ica mostraron los mayores rendimientos (23.87 a 32.21 t ha⁻¹) **Figura 2.**



Figura 2. Departamentos con mayor rendimiento (t ha⁻¹) de papa, promedios del periodo 2002-2012.

FUENTE: Series históricas Minagri (Egúsqüiza, 2014).

Sin embargo, el principal departamento productor de papa fue Puno con 643 mil toneladas, seguido de Huánuco, Cusco, Junín y La Libertad que juntos aportan el 55% de la producción nacional (Perú, Prensa 2014). Puno tiene 17.8% de superficie dedicada a la producción de papa, Huánuco 12.34% y Cusco 10.55% (Egúsqüiza, 2014).

Del año 2004 al 2013, el consumo per cápita de papa por día registró un crecimiento de 6.6% de 166.1 a 177.1 g, respectivamente (INEI, Prensa 2014).

2.5 DEFICIENCIAS DE HIERRO Y ZINC EN PERÚ Y EL MUNDO

Las deficiencias de hierro y zinc se encuentran entre las principales causas de la desnutrición en todo el mundo (Calero y Molina, 2010), afectan al menos 2000 millones de personas (Boy *et al.*, 2009). Una ingesta proteica inadecuada también afecta a la digestibilidad de estos y otros nutrientes. En Latinoamérica, las deficiencias de micronutrientes han sido reconocidas desde los años 50. Un importante aspecto a tomar en cuenta en posibles intervenciones en el continente, es que más del 75% de su población es urbana y su nivel de pobreza es a menudo más pronunciada que en las zonas rurales (Ortiz, 2010).

El zinc y el hierro son micronutrientes esenciales para el crecimiento humano, el desarrollo y mantenimiento del sistema inmunológico. El zinc es necesario para el crecimiento y mantenimiento de la función inmune, lo que mejora tanto la prevención y recuperación de enfermedades infecciosas (Black, 2003). El hierro es necesario para el desarrollo psicomotor, mantenimiento de las actividades físicas, la capacidad de trabajo y la resistencia a las infecciones (Stoltzfus, 2001).

La encuesta ENCOFA (2006) determinó que en las familias peruanas el 73.3% tenían deficiencias de hierro total, el 70.1% deficiencias de grasas, el 45.1% deficiencias de proteína animal, el 38.2% deficiencias de vitamina A, y el 33.1% deficiencias de calorías. La misma encuesta determinó que las deficiencias son similares tanto para la sierra urbana, costa y Lima Metropolitana. Así mismo la deficiencia de hierro es mayor en la costa con un 82%, la deficiencia de vitamina A es mayor en la selva con un 47.1%; el déficit calórico es mayor en la sierra rural con un 43.4%.

En el consumo de papa promedio de una persona en los últimos 10 años es de 210 g (**Figura 3**), se observó un incremento de 185 a 226 g en el 2013. En el altiplano andino, la población tiene poco acceso a la carne, siendo la papa una fuente importante de hierro en la dieta (Burgos *et al.*, 2007).

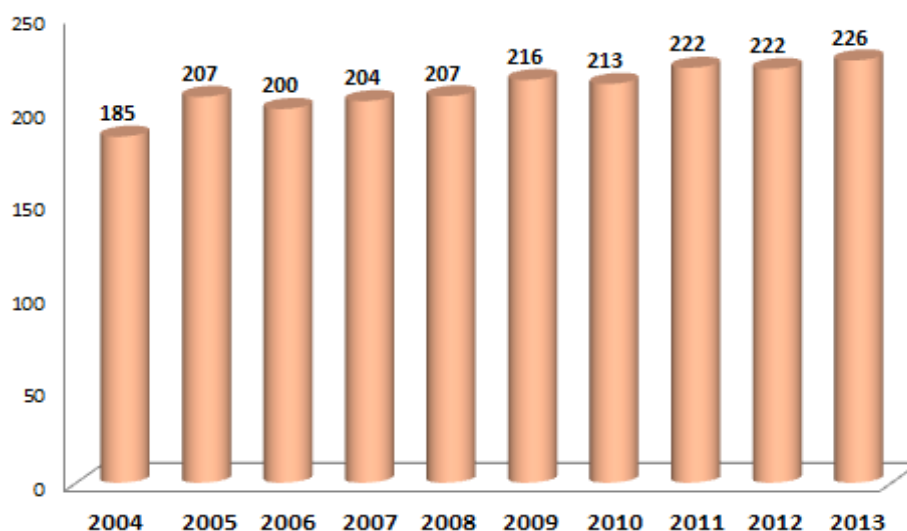


Figura 3: Consumo de papa por persona en g por día.

FUENTE: FAOSTAT 2016 (<http://faostat3.fao.org/download/FB/CC/S>)

2.6 VALOR NUTRITIVO DE LA PAPA Y APORTES EN LA DIETA

La papa es un alimento versátil, es popular en todo el mundo, se prepara y sirve en una gran variedad de formas, de acuerdo a las costumbres de cada región, puede comerse al horno, hervida, frita o deshidratada, así como ser ingrediente en ensaladas, sopas, tortillas, como relleno para pastas, tortas, galletas, y hasta se destila para hacer vodka (Muñoz, 2014; Borba, 2008). Recién cosechada, contiene un 80 % de agua y un 20 % de materia seca, posee carbohidratos que son necesarios para prevenir la fatiga y desbalances nutricionales, así como minerales, vitaminas y antioxidantes, los cuales pueden contribuir a prevenir enfermedades relacionadas con el envejecimiento (Muñoz, 2014; Borba, 2008). El porcentaje de aporte de papa en la dieta posee carbohidratos (21%) que son necesarios para prevenir la fatiga y desbalances nutricionales, así como minerales (Fe 18%, P 21 %, K 46%), vitaminas (48% en Vitamina C) y antioxidantes, los cuales pueden contribuir a prevenir enfermedades relacionadas con el envejecimiento (AGRONOTICIAS, 2012) (Figura 4).

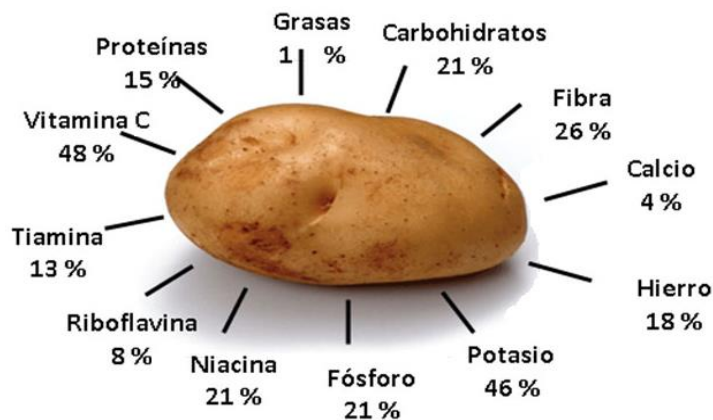


Figura 4. Porcentaje de aporte de una porción de 175 g de papa (2 tubérculos medianos) al total diario requerido

FUENTE: AGRONOTICIAS, 2012.

La papa es un alimento que tiene menor contenido de grasa comparado a las pastas y el arroz, además de ser una fuente buena de calorías, de fibra y de vitamina como se observa en el **cuadro 3**.

Cuadro 3. Aporte en compuestos nutritivos de la papa en comparación con las pastas y el arroz.

	Papa (175g)	Pasta (230 g)	Arroz (180g)	Unidad
Energía (calorías)	126	198	248	kcal
Carbohidratos	27	43	56	g
Grasa	0.17	1.15	2.99	g
Proteínas	3.15	6.9	4.68	g
Fibra	2.1	2.07	0.18	g
Vitamina C	0.5	0	0	mg
Vitamina B6	0.58	0.023	0.13	mg

FUENTE: Muñoz, 2014

2.7 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PAPA

La composición química de los tubérculos de papa presenta algunas variaciones dependiendo de la variedad, el almacenamiento, la estación de cultivo, el tipo de suelo, la aplicación de fertilizantes, y los métodos de análisis usados por el investigador (Salunke, *et al.*, 1991).

a) Carbohidratos

Los carbohidratos constituyen cerca del 65 a 80% de los sólidos totales y se clasifican en almidones, polisacáridos no almidonosos y azúcares. Cuando la papa se consume caliente, el almidón es rápidamente digerido por el organismo; si se consume fría, la digestibilidad del almidón se reduce (Salunke *et al.*, 1991).

Uno de los mayores componentes de las raíces y tubérculos es el almidón, el cual constituye la mayor fuente energética de las plantas (Martín y Smith, 1995; Pedreschi, 2009); sus gránulos tienen diferentes tamaños y formas (Vandeputte y Delcour, 2004; Camire *et al.*, 2009, Lindeboom *et al.*, 2004). Su contenido de amilosa y amilopectina, y otros componentes, permite su utilización en la industria alimenticia (Singh *et al.*, 2005).

Los azúcares en los tubérculos se encuentran desde trazas hasta porcentajes elevados la cual depende de la variedad, el grado de maduración, la temperatura y el almacenamiento.

Se ha establecido que la sacarosa, fructosa y glucosa son los azúcares que más frecuentemente están en la papa (Salunke *et al.*, 1991).

b) La fibra

La fibra alimentaria representa 1-2% del total de la papa y se encuentra en la piel (Jimenez, 2008).

c) Compuestos nitrogenados

Los compuestos nitrogenados constituyen el segundo componente de la papa, con 3 al 15% de la materia seca (estos se incrementan con la madurez del tubérculo) (Talentos por la vida, web).

d) Proteínas

El contenido de proteína de la papa es comparable a la de otros cereales, pero es muy alto en comparación con otras raíces y tubérculos (Storey, 2007). Las proteínas de papa muestran limitantes en aminoácidos azufrados, pero contienen más lisina que los cereales principales; por lo tanto, puede ser usado como suplemento (Woolfe, 1987; Camire *et al.*, 2009). Como fracciones proteicas más abundantes se destacan las albúminas (49%) y globulinas (26%) seguidas de prolaminas (4.3%) y glutelinas (8.3%) (Talentos por la vida, web).

El valor de la proteína no se afecta significativamente al cocinar la papa. La mayoría de las proteínas se ubican en el cortex (zona inmediata debajo de la piel) y la médula (zona central). También se ha informado de que la papa produce más proteína por unidad que cualquier otro cultivo, excepto soja (Dale y Mackay, 1994).

e) Vitaminas

La papa contiene cantidades significativas de vitamina C (ácidos ascórbico y dehidroascórbico), además de otras vitaminas hidrosolubles, como tiamina y vitamina B1, B3 y B6. La vitamina C (o ácido ascórbico) también juega un papel importante como un potenciador de la biodisponibilidad de micronutrientes en la dieta (Pfeiffer, 2010).

Las vitaminas solubles en aceite están presentes en pequeños trazos (Burgos *et al.*, 2007). Por 100 g de papa, se puede encontrar 30 mg o más de ácido ascórbico cuando los tubérculos están recientemente cosechados, pueden proporcionar 11.4 mg o 20% de los niveles requeridos de vitamina C, aunque los valores declinan cuando los tubérculos son almacenados, cocinados o procesados (Salunke *et al.*, 1991). El tubérculo es una buena fuente de vitaminas hidrosolubles incluyendo algunas vitaminas del grupo B y ácido ascórbico (vitamina C) (Woolfe, 1987).

f) Minerales

La papa es una buena fuente de hierro y magnesio, y algunos elementos trazas carentes en la leche. Normalmente, los tubérculos de papa tienen un contenido de minerales de 1.1%, siendo el potasio el más abundante, luego continua, el fósforo, cloruro, azufre, magnesio, hierro y zinc los cuales están disponible en cantidades moderadas (Dale y Mackay, 1994; Camire *et al.*, 2009, True *et al.*, 1978).

El hierro en la papa muestra una superior disponibilidad con respecto al hierro encontrado en otros alimentos vegetales, también contienen en menor cantidad calcio y sodio (Lisinska y Leszczynski, 1989). La papa es una modesta fuente de hierro en la dieta humana, y con sólo 150 g de porción, puede suministrar 6 % de la cantidad diaria recomendada de hierro.

Los rangos reportados de hierro y concentración de zinc indican amplia diversidad genética que podría ser explorado en programas de mejoramiento que buscan aumentar el nivel de estos minerales en la dieta humana (Andre *et al.*, 2007; Burgos *et al.*, 2007; Ekin, 2011).

2.8 SOLUBILIDAD Y LA ACUMULACIÓN DE MINERALES EN LA PAPA

Los cultivos de plantas adquieren principalmente sus nutrientes del suelo. Los minerales pueden estar presentes en el suelo como iones libres, o iones absorbidos sobre minerales o superficies orgánicas y como compuestos (White y Broadley, 2009).

Los nutrientes minerales de las plantas están directamente relacionados con su crecimiento y productividad. Los micronutrientes son requisitos básicos para el crecimiento y desarrollo de la planta y su estado es controlado por su potencial de absorción de nutrientes, su genética, la disponibilidad de nutrientes en el suelo, y otros factores ambientales (Mengel y Kirkby, 2001).

Sin embargo, los nutrientes deben estar disueltos en la solución del suelo antes de que estén disponibles para el uso de la planta. La disponibilidad de la mayoría de los micronutrientes depende de las propiedades más importantes del suelo tales como el pH del suelo, las condiciones de oxidación, capacidad de intercambio catiónico, actividad microbiana, la materia orgánica, naturaleza de los sitios de unión en superficies de las partículas orgánicas e inorgánicas. El contenido de agua, juega un papel importante en la regulación de la disponibilidad de estos minerales para la acumulación de cultivos (Frossard *et al.*, 2000; Shuman, 1998, Tuna, 2008).

La biodisponibilidad de los minerales a partir de tejidos de plantas depende en su forma química y la presencia de sustancias promotoras y anti-nutrientes (White y Broadley, 2009). Los tubérculos de papa tienen altas concentraciones de sustancias promotoras tales como el ascorbato, b-caroteno, la proteína cisteína, varios ácidos orgánicos y aminoácidos que mejoran la absorción esencial de micronutrientes (White *et al.*, 2009) y bajas concentraciones de antinutrientes como fitato (0.11 a 0.27% del total en materia seca Frossard *et al.*, 2000; Phillippy *et al.*, 2004) y el oxalato (0.03% de materia seca total, Bushway *et al.*, 1984).

La concentración de hierro y zinc en la papa es baja en comparación con la concentración de estos minerales en los cereales y las legumbres. Sin embargo, la biodisponibilidad del hierro en papa puede ser mayor que en los cereales y las legumbres debido a la presencia de altos niveles de ácido ascórbico (Fairweather-Tait, 1983). El ácido ascórbico (AA) tiene la cualidad de aumentar la biodisponibilidad del hierro y su efecto se atribuye a la capacidad que estos compuestos tienen para reducir el Fe-No Hem y mantener su solubilidad a pH alto, por lo tanto, aumentan la cantidad de Fe⁺² soluble en el lumen duodenal (Teucher *et al.*, 2004). Se ha observado que soluciones con concentraciones de AA de hasta 10 a 1 con respecto a Fe aumentan la biodisponibilidad del hierro en forma directamente proporcional, en relaciones mayores el efecto se atenúa (Lynch *et al.*, 1980).

Asimismo, se encuentra bajos niveles de las concentraciones de ácido fítico en los tubérculos que es un inhibidor de la absorción de hierro (Fairweather-Tait, 1983). El fitato, también es un potente inhibidor de la absorción de zinc. El fitato consiste en la sal de magnesio, calcio, o potasio del ácido fítico (myo-inositol hexafosfato), aunque comúnmente se usa el término fitato para referirse tanto a la sal como a la molécula de ácido fítico. El mecanismo por el cual el fitato inhibe la absorción de zinc y hierro se debe

a que es un poderoso quelante de minerales. Dado que el fitato no puede ser digerido o absorbido por el intestino humano, los minerales quelados al fitato también pasan por el tracto gastrointestinal sin ser absorbidos. (O'Dell, 1969).

La alta concentración de minerales, como el hierro, zinc y calcio ocurre en muchos suelos (White y Broadley, 2009). Sin embargo, como se señaló anteriormente, la disponibilidad de estos elementos minerales a menudo está limitada por las propiedades del suelo, en el que se predeterminan tantas estrategias genéticas y agronómicas para su utilización eficaz. Lindsay, (1991) sugiere que el hierro en la mayoría de los suelos se encuentra en formas amorfas, maghemita, y ferrihidrita de hierro proceso de oxidación que tiene lugar durante la formación del suelo en condiciones aerobias. Por otro lado, la solubilidad del zinc en el suelo depende altamente del pH del suelo (Grotz y Guerinot, 2006; White *et al.*, 2002; White y Broadley, 2009).

En el trigo duro, hay evidencia que sugiere que el nitrógeno (N) puede tener un impacto positivo sobre la absorción de la raíz, la acumulación de hierro y zinc en el grano y el estado nutricional de la planta (Cakmak *et al.*, 2010; Kutman *et al.*, 2011). Asimismo, sugiere que los fertilizantes, pueden proporcionar una opción inmediata y eficaz para aumentar la concentración de zinc en el grano, y la productividad. En los tubérculos de papa, la asimilación de zinc se ha relacionado con el co-transporte de nitrógeno (White *et al.*, 2002), pero en los estudios de campo a largo plazo, Šrek *et al.*, 2010 no encontraron diferencias en el contenido de hierro y zinc de tubérculos bajo diferentes tasas de tratamientos con nitrógeno, potasio y fósforo de campo. También en soja se reporta que no ha sido posible cuantificar la interacción de los avances genéticos ni la utilización de N como fertilizante (Wilson *et al.*, 2014).

La capacidad de absorción de elementos nutritivos de la papa está fuertemente relacionada con el desarrollo radicular, es decir, con el volumen de raíces, profundidad que ellas alcanzan y época en que éstas se desarrollan. Una abundante masa radicular puede explorar un amplio volumen de suelo, asegurando de este modo el abastecimiento de nutrientes de la planta. Debido a su limitado sistema radicular (en relación a otras especies vegetales), la papa extrae desde los primeros 30 cm la mayor proporción de los elementos nutritivos que requiere (Inostroza, 2009).

El aumento de las concentraciones de minerales sin pérdida de rendimiento se puede lograr en tejidos comestible, dependiendo del aumento de la captación eficaz por las raíces u hojas, la redistribución dentro de la planta de la parte comestible, y la acumulación en los tejidos comestibles en una forma no tóxica (Welch y Graham, 2005). Para aumentar las concentraciones de micronutrientes en porciones comestibles de granos o tubérculos se requiere que varias barreras a la acumulación de minerales dentro de la planta sean superadas (Welch, 1995; Welch, 1999). Estas barreras se cree que son el resultado de un mecanismo homeostático controlado que regula la absorción de minerales, translocación y la redistribución en la planta (Welch y Graham, 2004).

También en varios estudios se encontró que las concentraciones de algunos minerales pueden ser mayores en la cascara que en la pulpa del tubérculo (McGuire y Kelman, 1984; Trehan y Sharma, 1996; Wszelaki *et al.*, 2005).

La producción de biomasa total que es el peso total de la planta (índice biológico) está directamente relacionada con el contenido de nutrientes (Gárate y Bonilla, 2000). El contenido de zinc y calcio en los granos y frutos en algunos casos puede ser aumentada a través de las aplicaciones de fertilizantes foliares; sin embargo, técnicas de cultivo de plantas e ingeniería genética, tienen el mayor potencial para aumentar el contenido de hierro y zinc en granos, raíces y tubérculos (Frossard *et al.*, 2000). Cada cultivar tiene una capacidad diferente para absorber los minerales del suelo, trasladar y redistribuir los minerales adecuadamente en el tejido vegetal comestible (Welch y Graham, 2004).

2.9 SELECCIÓN RECURRENTE

Selección recurrente es cualquier sistema designado para aumentar gradualmente la frecuencia de alelos deseables o genes favorables de la población para características cuantitativas que se lleva a cabo por medio de repetidos ciclos de selección y cruzamientos de las mejores plantas entre sí sin reducir la variabilidad genética de la población obtener las mejores combinaciones génicas (Ramirez, 2006; Borem *et al.*, 2008; Camarena *et al.*, 2010). La figura 5 ilustra el progreso de una población sometida a la selección recurrente, sin reducción de la variabilidad. Cada ciclo puede repetirse tantas veces sea necesario para la elevación de la frecuencia de alelos favorables en la población.

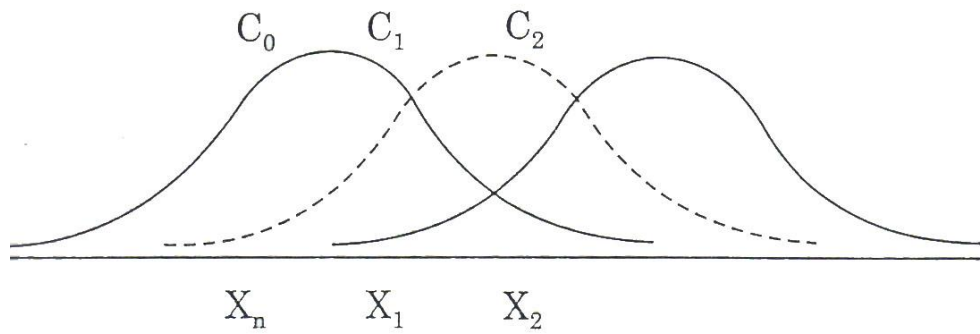


Figura 5. Progreso genético de la población original con dos ciclos de selección recurrente ($X_2 > X_1 > X_0$) manteniendo su variabilidad genética ($\sigma^2C_0 = \sigma^2C_1 = \sigma^2C_2$).

FUENTE: Borem *et al.*, 2008

La selección recurrente ha sido evaluada en diversas especies y para las más variadas características agronómicas. En las primeras etapas de desarrollo del programa de mejoramiento en el CIP utilizó la selección recurrente simple para mejorar caracteres de los tubérculos y luego la selección recurrente con pruebas de progenie (Mendoza, 1985).

Se ha utilizado la selección recurrente exitosamente en muchos programas de mejoramiento de papa. Mendoza y Jatala (1982) utilizaron la selección fenotípica recurrente para encontrar resistencia a *Meloidogyne spp.*, población formada por las especies de papa cultivada diploide primitivas *S. phureja* y *S. stenotomun* y especies silvestres *S. sparsipilum*, *S. chacoense* y en menor escala *S. microdontum* la cual tuvo una frecuencia inicial de 3.5 % de clones resistentes. Después de 4 ciclos de selección la frecuencia de clones resistentes se incrementó a 35.5%. La heredabilidad en sentido estricto para esta característica fue 0.8. Esta resistencia ha sido transferida a la población de climas calientes utilizando cruzamientos 4x-2x.

Mendoza (1987) también utilizó selección recurrente para mejorar genotipos con resistencia a los virus Y, X y del enrollamiento de la hoja, encontrando que la eficiencia en el proceso de selección es de 90% ($s=0.9$).

Landeo *et al.*, (1995) utilizaron la selección fenotípica recurrente para generar dos grupos de poblaciones, una derivada de cultivares primitivos de *Solanum tuberosum ssp andígena* (B1), la cual es exenta de los genes R, y una segunda población (B3), derivados de la

población A, después de la eliminación de los genes R. Luego de cinco ciclos de recombinación se observó que la población B1 mostró un alto incremento en la resistencia, con otras características deseables como tubérculos precoces de buen aspecto general, forma y uniformidad, así como alta calidad de procesamiento. En los estudios de progenie compararon el área de progreso bajo la curva de la enfermedad (AUDPC) entre el tercer ciclo (B1C3) y el ciclo 1 (B1C1) y demostraron una reducción de AUDPC de aproximadamente una cuarta parte, lo que indica una rápida ganancia en los niveles de resistencia. Además, obtuvieron altas estimaciones de heredabilidad en cada ciclo ($h^2 = 0.62$ y $h^2 = 0.38$, respectivamente) (Landeo, 2005). La selección fenotípica en la población B1 se realizó de la siguiente manera, en la primera etapa se utilizaron alrededor de 30,000 - 50,000 genotipos provenientes de semilla sexual y se seleccionó los mejores genotipos, en la segunda etapa se seleccionaron 3,000 - 5,000 plántulas, en esta etapa se realizó pruebas de campo en dos zonas, en la tercera etapa se seleccionó 300 - 500 plántulas y las pruebas de campo se realizaron en tres localidades, en la cuarta etapa solo se seleccionó 100 - 200 plántulas y se realizaron diversas evaluaciones en tres localidades (Gástelo *et al.*, 2010).

Capezio *et al.*, (1993) trabajaron con dos ciclos de selección para elegir clones con alto peso específico en generaciones tempranas de papa registrando que la variabilidad entre familias de medios hermanos fue altamente significativa, la eficiencia de selección estimada, superó el 60 % entre todas las generaciones clonales.

Desde 1989, PROINPA en Bolivia ha generado y obtenido por selección recurrente, y otras nuevas metodologías cultivares más productivos y resistentes a los factores bióticos como el tizón *Phytophthora infestans*, el nematodo *Nacobbus aberrans* y la verruga *Synchytrium endobioticum* y tolerantes a factores abióticos como las heladas y sequía (Gabriel *et al.*, 2001). El programa de mejoramiento de CIP desde 2008 está usando selección recurrente con pruebas de progenie para incremento de hierro y zinc. Donde se usó como parentales: tres grupos de papas diploides cultivadas de *Solanum tuberosum*, nombrados *stenostomum*, *goniocalyx* y *phureja*., del estudio de Burgos *et al.*, 2007, estos parentales se seleccionaron por sus altos porcentajes de hierro y zinc. Paget *et al.*, 2014 mencionaron que esta población base (Ciclo 0) dio origen al Ciclo I y posteriormente al Ciclo II, mostrando incrementos significativos en las concentraciones de Fe y Zn.

Otros autores, Bradshaw (2005) reportan estudios de mejoramiento por medio de selección recurrente para las características de apariencia de tubérculos, resistencia a tizón tardío y resistencia al nematodo, donde seleccionaron 108 clones en el primer ciclo, 27 clones en el segundo ciclo y 36 clones en el tercer ciclo, teniendo una ganancia de selección 28% para el primer ciclo, 32% en el segundo ciclo y 41% en el tercer ciclo.

A medida que se avanza en la selección, la variabilidad genética aditiva se agota y por lo tanto el diferencial de selección y la ganancia genética disminuyen considerablemente. La ganancia genética siempre presenta valores menores que el diferencial de selección debido a los efectos genéticos no aditivos y al ambiente. El progreso debido a la selección depende de la variabilidad genética aditiva, del efecto ambiental y de la presión de selección (Vallejo y Estrada, 2002).

2.10 MATERIAL GENÉTICO

2.10.1 Descripción de cultivares de la población base

Para la evaluación de ganancia genética se utilizaron 17 cultivares de papas nativas las cuales fueron introducidas en el banco de germoplasma del Centro Internacional de la Papa (CIP) durante los años de 1970 a 1975 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Ubicación de colecta de los cultivares de la población base

Genotipo	Nombre de la variedad	País de origen	Año de colecta	Especie	Longitud	Latitud	Elevación (msnm)
CIP702736	Puka Mikush	Perú	1970	<i>S. stenotomum</i>	-76.4947	-10.4386	3618
CIP703280	Puka Chaucha	Perú	1977	<i>S. stenotomum</i>	-76.8	-9.83	3600
CIP703312	Morada Turuna	Perú	1974	<i>S. stenotomum</i>	-69.5374	-14.4712	3414
CIP703317	Chingos	Perú	1974	<i>S. stenotomum</i>	-77.5153	-9.5735	3404
CIP702815	Morar Nayra Mari	Perú	1975	<i>S. stenotomum</i>	-70.0292	-15.8392	3856
CIP703291	Rosca	Colombia	1974	<i>S. phureja</i>	-76.3958	2.5138	2757
CIP703825	China Runtush	Perú	1974	<i>S. stenotomum</i>	-76.4509	-10.4291	3054
CIP704393	María Cruz	Perú	1973	<i>S. stenotomum</i>	-77.1735	-10.6076	2550
CIP701165	Calhua Rosada	Perú	1970	<i>S. stenotomum</i>	-75.2568	-12.1385	3217
CIP703168	Puka Pishgush	Perú	1973	<i>S. stenotomum</i>	-76.6878	-9.984	3568
CIP703831	Pampina	Perú	1974	<i>S. stenotomum</i>	-76.4467	-10.4783	3343
CIP700313	Cuchipa Ismaynin	Perú	1970	<i>S. stenotomum</i>	-75.6503	-11.2649	2930
CIP703197	Yana Shucre	Perú	1973	<i>S. stenotomum</i>	-74.6292	-12.1176	2742
CIP704481	Amarilla	Perú	1974	<i>S. stenotomum</i>	-76.6656	-9.7957	3394
CIP703287	Azul Sonq'o o Q'eqorani	Perú	1975	<i>S. stenotomum</i>	-71.9223	-13.4797	3609
CIP703421	Poluya	Bolivia	1974	<i>S. stenotomum</i>	-68.1	-16.9	4198
CIP704218	Yema de Huevo	Colombia	1974	<i>S. phureja</i>	-72.8833	5.5166	3050

FUENTE: Base de Datos Institucional del CIP (CIP-BioMart, 2015).

En el 2007 se realizó la determinación del contenido de hierro (Fe) y zinc (Zn) de variedades de papas nativas andinas en dos ambientes (Inyaya Alto en Ayacucho y Aymara en Huancavelica los resultados revelaron una significativa variación genotípica. Las concentraciones de Fe en los tubérculos crudos, pelados fue de 9 a 37 mg kg⁻¹ y para Zn de 8 a 20 mg kg⁻¹ (peso seco), los cultivares CIP703274 y CIP701165 alcanzaron los niveles más altos (**Cuadro 5**) (Burgos, *et al.* 2007).

Cuadro 5. Concentración de Fe y Zn (mg kg⁻¹ en peso seco) y materia seca (%MS) de variedades nativas de papa en Inyaya y Aymara

Número CIP	Nombre del Cultivar	Grupo taxonómico	Fe			Zn		% MS		
			Inyaya	Aymara		Inyaya	Aymara	Inyaya	Aymara	
703274	Unknown	Phu (2x)	36.7 ^a	29.4 ^a	**	12.1 ^{abcdef}	14.3 ^{ghijk}	**	27.7	24.2
702453	Waca -uno	Adg (4x)	28.5 ^b	21.2 ^{abcd}	**	13.4 ^{abc}	14.0 ^{ghijkl}	**	24.3	24.3
703265	Yurac Sole	Adg	26.2 ^{bc}	22.0 ^b	**	12.4 ^{abcdef}	18.5 ^{ab}	**	32.0	28.1
702815	Morar Nayra Mari	Stn (2x)	24.3 ^{bcdef}	21.9 ^b	**	14.5 ^{ab}	16.8 ^{bcdef}	**	26.1	28.8
700234	SA-2563	Adg	25.2 ^{bcd}	20.2 ^{bcdef}	**	12.1 ^{abcdef}	13.8 ^{ghijklm}	**	25.1	24.5
703985	Runtu	Gon (2x)	24.5 ^{bcde}	20.4 ^{bcde}	**	13.1 ^{abcde}	17.9 ^{abc}	**	32.2	31.2
701997	Sullu	Adg	24.7 ^{bcde}	18.9 ^{bcdefgh}	**	11.3 ^{bcdef}	12.9 ^{klmno}	**	27.1	25.6
703287	Coeccorani	Stn	20.8 ^{defghijk}	21.6 ^{bc}		11.3 ^{bcdef}	14.8 ^{fghij}	**	36.2	33.8
701165	Calhua Rosada	Stn	21.6 ^{defghij}	20.4 ^{bcde}		14.7 ^a	20.2 ^a	**	32.0	29.1
703421	Poluya	Stn	23.6 ^{bcdefg}	17.8 ^{efghijk}	**	13.2 ^{abcd}	16.6 ^{bcdef}	**	29.6	25.8
706191	Cuchi Chucchan	Adg	23.3 ^{cdefgh}	17.9 ^{efghijk}	**	9.7 ^{fg}	10.9 ^{pqr}	*	30.9	29.1
703197	Yana Sucre	Adg	20.5 ^{efghijk}	20.4 ^{bcde}		10.8 ^{cdef}	12.4 ^{klmnop}	**	31.9	29.6
703825	China Runtush	Gon	19.9 ^{fghijk}	19.6 ^{bcdefg}		9.7 ^{fg}	12.9 ^{klmno}	**	29.9	29.2
704481	Amarilla	Gon	20.4 ^{efghijk}	18.8 ^{bcdefgh}		10.4 ^{cdefg}	12.8 ^{ijklmno}	**	28.8	29.6
705009	Purranca	Tbr (4x)	20.8 ^{defghijk}	18.2 ^{defghij}	**	13.0 ^{abcde}	17.2 ^{bcde}	**	23.2	20.1
700313	Cuchipa Ismaynin	Stn	21.9 ^{defghij}	17.1 ^{fghijk}	**	11.7 ^{abcdef}	13.2 ^{hijklmn}	*	33.0	30.1
703741	Ambar	G x S (2x)	21.2 ^{defghij}	17.7 ^{efghijk}	**	13.2 ^{abcd}	16.7 ^{bcdef}	**	29.3	26.2
703268	Bolona	Adg	21.9 ^{cdefghi}	16.9 ^{ghijk}	**	10.2 ^{efg}	10.3 ^f	**	28.6	25.1
702395	Puma Maqui	Adg	20.3 ^{efghijk}	17.8 ^{efghijk}	**	11.4 ^{abcdef}	13.2 ^{hijklmn}	**	31.9	27.6
703317	Chingos	Stn	20.0 ^{fghijk}	17.8 ^{efghijk}	*	11.1 ^{cdef}	15.3 ^{defg}	**	27.9	26.2
702363	Socco Huaccoto	Adg	19.3 ^{ghijkl}	18.5 ^{cdefghi}		10.9 ^{cdef}	12.0 ^{mnpq}	**	23.2	22.8
704393	Maria Cruz	Gon	19.3 ^{ghijkl}	18.2 ^{defghij}		11.1 ^{cdef}	13.1 ^{ijklmn}	**	34.3	31.8
701273	Muro Shocco	Stn	20.5 ^{efghijk}	16.2 ^{hijk}	**	10.3 ^{defg}	10.4 ^r	**	26.3	26.4
703899	Chaucha Roja	Adg	18.5 ^{ijkl}	17.9 ^{defghij}		8.3 ^g	9.9 ^f	**	28.2	29.7
703312	Morada Taruna	Adg	18.4 ^{ijkl}	17.8 ^{hijk}		11.0 ^{cdef}	15.6 ^{cdefg}	**	28.7	26.2
702736	Puca Micnush	Stn	19.1 ^{hijkl}	17.1 ^{fghijk}	*	11.7 ^{abcdef}	14.0 ^{ghijkl}	**	31.6	31.8
701515	Rucuma o Lucuma	Adg	20.0 ^{fghijk}	16.2 ^{hijk}	**	10.5 ^{cdefg}	11.2 ^{opqr}	**	26.1	25.4
701675	Tarmeña	Adg	19.3 ^{ghijkl}	16.8 ^{ghijk}	**	11.7 ^{abcdef}	14.7 ^{fghij}	**	32.1	29.1
703768	Huayro Roja	G x S	19.1 ^{hijkl}	16.6 ^{ghijk}	**	11.7 ^{abcdef}	13.9 ^{ghijkl}	**	31.8	30.8
707135	Duraznillo	Cha (3x)	19.5 ^{ghijkl}	16.1 ^{hijkl}	**	12.1 ^{abcdef}	15.1 ^{efghi}	**	31.4	29.5
704143	Negra Ojosa	Stn	18.4 ^{ijkl}	16.2 ^{efghijk}	*	8.3 ^g	10.2 ^f	**	26.8	24.8
704022	Kellu Suito	Stn	18.0 ^{ijkl}	16.3 ^{hijk}		13.2 ^{abcd}	17.6 ^{abcd}	**	28.5	28.8
703168	Puca Pishgush	Gon	18.9 ^{ijkl}	15.1 ^{kl}	**	10.7 ^{cdef}	11.5 ^{opqr}	**	31.6	30.2
702464	Natin Suito	S x G (2x)	18.2 ^{ijkl}	15.5 ^{kl}	**	10.0 ^g	12.1 ^{lmnop}	**	29.1	29.7
700787	EE-2057	Cha	19.3 ^{ghijkl}	13.6 ^l	**	11.5 ^{abcdef}	10.0 ^r	*	26.6	28.9
705543	Yana Warmi	Cha	17.3 ^{kl}	15.6 ^{kl}		10.3 ^{defg}	15.2 ^{defgh}	**	33.5	30.3
705280	Murunguilla	Adg	16.1 ^l	15.9 ^{ijkl}		10.7 ^{cdef}	15.1 ^{efghi}	**	33.5	30.1

FUENTE: Burgos *et al.*, 2007

2.10.2 Descripción del material del ciclo I

Para la primera generación (Ciclo 1), se utilizó una muestra de cultivares de las tres especies del estudio de Burgos *et al.*, 2007 y cruzaron siguiendo un diseño de apareamiento anidada Carolina del Norte I (Cuadro 6), es decir, cada grupo de machos se aparearon a un subconjunto de hembras. Se generó 17 familias de hermanos completos y 4 familias de medios hermanos de 4 machos y 16 hembras; los genotipos 703421 ("Poluya"), 703825 ("China Runtush") fueron progenitores machos y hembras. El primer ciclo se cultivó en Huánuco, Perú, a una altitud de 3800m durante el 2006. Las familias de tubérculos, estuvo formada de tres tubérculos (clones) por genotipo, con tres repeticiones de cada familia bajo un diseño de bloques al azar (DBCA). Las distancias de siembra fueron 0.3 m entre plantas y 0.9 m entre surcos. Para el análisis de micronutrientes durante la cosecha, se tomaron al azar de cada repetición muestras de tubérculos de 12 genotipos. Todos los análisis se llevaron a cabo en tubérculos pelados (Cuadro 7). El contenido de minerales se determinó mediante el método ICP-OES (Espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente) por Waite Analytical Services en Australia (Paget *et al.*, 2014). Los valores obtenidos para el contenido de Fe varían entre 9.5 a 37.3 mgkg⁻¹ y para el contenido de Zn varían entre 7.2 a 27.5 mgkg⁻¹ (**Cuadro 7**).

Cuadro 6. Estructura del cruzamiento del ciclo I (NCD I)

Hembras	Grupo	Nombre del cultivar	Macho	Grupo	Nombre del cultivar
CIP702736	<i>Stn</i>	Puca Mienush	CIP703287	<i>Stn</i>	Cceccorani
CIP703280	<i>Gon</i>	<i>Desconocido</i>			
CIP703312	<i>Stn</i>	Morada Taruna			
CIP703317	<i>Stn</i>	Chingos			
CIP702815	<i>Stn</i>	Morar Nayra Mari	CIP703421	<i>Stn</i>	Poluya
CIP703291	<i>Phu</i>	Rosca			
CIP703825	<i>Gon</i>	China Runtush			
CIP704393	<i>Gon</i>	Maria Cruz			
CIP701165	<i>Stn</i>	Calhua Rosada	CIP703825	<i>Gon</i>	China Runtush
CIP703168	<i>Gon</i>	Puca Pishgush			
CIP703352	<i>Gon</i>	Cashpadana Amarilla			
CIP703421	<i>Stn</i>	Poluya			
CIP703831	<i>Gon</i>	Pampuna	CIP704218	<i>Phu</i>	Yema de Huevo
CIP700313	<i>Stn</i>	Cuchipa Ismaynin			
CIP703197	<i>Stn</i>	Yana Sucre			
CIP704481	<i>Gon</i>	Amarilla			

Stn: *Stenotum*, *Gon*: *Goniocalix*, *Phu*: *Phureja*

FUENTE: Paget, 2014

Cuadro 7. Resumen de datos de las concentraciones de micronutrientes (mg kg⁻¹) y el contenido de materia seca (% MS)

Variables	n	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de Variabilidad (%)
Fe	487	9.5	37.3	19.0	3.9	20.4
Zn	487	7.2	27.5	15.8	3.0	18.7
MS	487	15.5	38.4	26.4	2.9	11.0

FUENTE: Paget *et al.*, 2014

2.10.3 Descripción del material del ciclo II

La selección de progenitores para el ciclo II se basa en los valores fenotípicos de los individuos a partir de los ensayos del ciclo I con mayor contenido de hierro, zinc y otras características agronómicas deseables a través de selección recurrente. Se seleccionó más de 40 padres potenciales, pero hubo eliminación natural (por ejemplo, debido a la

esterilidad masculina o femenina de los padres). El esquema de cruzamiento estuvo compuesto de 8 progenitores femeninos y 8 progenitores masculinos, los cuales se entrecruzaron bajo un diseño factorial Carolina del Norte II (**Cuadro 8**), es decir que cada miembro femenino del grupo fue cruzado con cada miembro masculino en 2 grupos de 4×4 (machos x hembras) y se generó 32 familias de hermanos completos.

Las plántulas de las cruces factoriales fueron trasplantadas en el campo en Huancayo, Perú durante los años 2007 y 2008, bajo un diseño DBCA con 4 repeticiones y 30 plantas por repetición. En la cosecha, se conservó un conjunto de familias de tubérculos de todo el ensayo y se sembró bajo un diseño DBCA en Ayacucho, Perú durante los 2008 y 2009.

Se sembraron tres plantas (clones) por genotipo en cada parcela dentro de los grupos familiares de hermanos completos con 3 repeticiones por familia. Durante la cosecha, las muestras de tubérculos de cada parcela de las tres plantas se agruparon y se analizaron para determinar el contenido de micronutrientes y materia seca de los tubérculos pelados por el método ICP-OES (Espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente) por Waite Analytical Services en Australia. Se evaluó un total de 1329 genotipos para determinar el contenido de hierro, zinc y el contenido de materia seca. Los valores para Fe fluctuaron entre 7 y 42.5 mg kg⁻¹ y para Zn entre 2.8 a 38.9 mg kg⁻¹ en base de peso seco (**Cuadro 9**) (Paget, 2014).

Cuadro 8. Estructura del cruzamiento del ciclo II (NCD II); tamaño de padres y familias

Hembras	Familias de Machos			
	CIP303803.161	CIP303828.201	CIP303835.111	CIP303888.41
SET1				
CIP303887.101	43	53	66	61
CIP303887.111	50	74	53	56
CIP303887.171	22	44	45	25
CIP303887.61	30	55	56	38
SET2				
CIP303826.21	37	36	28	38
CIP303826.41	47	49	40	23
CIP303841.22	19	27	39	46
CIP303846.11	28	42	21	38

FUENTE: Paget, 2014

Cuadro 9. Resumen de datos de las concentraciones de micronutrientes (mg kg⁻¹) y el contenido de materia seca (% MS)

Variables	n	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de Variabilidad (%)
Fe	1329	7.0	42.5	21.0	5.0	23.7
Zn	1329	2.8	38.9	15.4	3.4	22.4
% MS	1329	12.6	35.0	26.0	3.3	12.1

FUENTE: Paget *et al.*, 2014

2.10.4 Descripción del material del ciclo III

La selección de progenitores para el ciclo III se basa en los valores fenotípicos de los individuos a partir de los ensayos del ciclo II con mayores contenidos de hierro, zinc y otras características agronómicas deseables a través de selección recurrente. Se cruzaron 15 progenitores hembras por 11 progenitores machos, generando 53 familias, los cuales fueron evaluados en 2 localidades Huancayo (Junín) a 3216 msnm durante el periodo 2012 y 2013 y en Comas (Junín) a 3081 msnm durante el 2013. Los valores para el contenido de Fe fluctuaron entre 9.07 a 39.84 mg kg⁻¹ y para Zn fluctuaron entre 9.37 a 40.97 mg kg⁻¹ (Cuadro 10).

Cuadro 10. Resumen de datos de las concentraciones de micronutrientes (mg kg⁻¹) y el contenido de materia seca (% MS)

Localidad	Año	Variables	n	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Huancayo	2012	Fe	505	20.90	4.16	10.90	39.84
	2012	Zn	505	18.61	3.90	9.37	40.97
	2013	Fe	256	17.73	4.51	9.07	39.57
	2013	Zn	256	18.49	4.08	9.50	30.90
	2013	%MS	256	24.28	3.06	14.97	31.54
Comas	2013	Fe	149	23.29	5.57	10.12	36.34
	2013	Zn	149	17.47	3.88	9.42	29.73
	2013	%MS	149	22.54	3.13	14.65	29.98

FUENTE: Base de Datos Institucional del CIP (CIP-BioMart, 2015).

2.11 HEREDABILIDAD

La heredabilidad es la proporción de la varianza fenotípica total que es debida a causas genéticas; en otras palabras, es la proporción genética de la variabilidad total esta proporción se debe a la variabilidad observada debido a los efectos aditivos de los genes (Camarena *et al.*, 2010, Brown *et al.*, 2011). El conocimiento de la variabilidad fenotípica resultado de la acción conjunta de los efectos génicos y del ambiente es importante para el mejorador en la búsqueda de los métodos de mejoramiento y en la predicción de las ganancias de selección. Obviamente la naturaleza del ambiente ofusca las variaciones de la naturaleza génica. Cuanto mayor es la proporción de variabilidad recurrente del ambiente en relación a la variabilidad total más difícil será seleccionar genotipos de forma efectiva.

Se pueden distinguir dos tipos de heredabilidad: la heredabilidad en sentido amplio y la heredabilidad en sentido estricto (Camarena *et al.*, 2010, Borem *et al.*, 2008).

Heredabilidad en sentido amplio, la heredabilidad (h^2) puede definirse como la razón de la varianza genotípica (σ^2_G) por la varianza fenotípica (σ^2_P).

$$h^2 = \sigma^2_G / \sigma^2_P$$

Heredabilidad en sentido estricto la heredabilidad (h^2) es el cociente entre la varianza genética aditiva (σ^2_A) sobre la varianza fenotípica (σ^2_P).

$$h^2 = \sigma^2_A / \sigma^2_P$$

2.11.1 Heredabilidad de hierro y zinc en genotipos de papa

La heredabilidad mide la fracción de la variabilidad fenotípica que se puede atribuirse a la variación genética. Se ha sugerido que los micronutrientes en algunos genotipos de cultivos alimenticios que incluyen la papa está controlada genéticamente (Brown *et al.*, 2010). Esto también incluye otros rasgos de tubérculos de papa, tales como forma del tubérculo y el peso fresco (Bisognin *et al.*, 2012). Los rasgos genéticamente controlados se vuelven poco confiables en los factores ambientales y deben ser estables a través de los ambientes (Paget *et al.*, 2014).

Salas *et al.*, 2012 reportaron valores bajos en las heredabilidades en sentido amplio para hierro y zinc (0.36, 0.18), en sus estudios realizados en 6 lugares de los andes peruanos Ccasapata (3765 m.s.n.m); Sotopampa (3754 m.s.n.m); Ccollpaccasa (4067 m.s.n.m); Conayca (4178 m.s.n.m), la Victoria (3265 m.s.n.m) y Rangra (3323 m.s.n.m) en papas diploides. Las concentraciones de Fe y Zn fueron significativamente influenciadas por una interacción GxA contribuyendo con un 26 % y 16% en la variación total respectivamente.

Brown *et al.*, 2010, 2011 realizaron estudios para determinar si existe variación genética del contenido de hierro y zinc en los tubérculos de papa, donde se midió el contenido de Fe y Zn en papa sin pelar donde incluyeron variedades y selecciones avanzadas, en tres ensayos el cual se cultivaron en doce ambientes. Donde reportan heredabilidades para hierro y zinc de 0.70, 0.61 respectivamente. Y el contenido de Fe fue de 17 a 62 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco y de Zn fluctuó de 12 a 18 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco en todos los lotes.

Rivadeneira *et al.*, 2014, reportaron altos valores de heredabilidad en sentido amplio para Fe y Zn con 0.96 y 0.69 respectivamente, indicando que estos datos aseguran una mejor respuesta a la selección de este carácter de calidad, la investigación se realizó en la provincia de Pichincha, Cantón Mejía de la EESC, a una altura de 3050 msnm en Ecuador donde se evaluaron 30 clones avanzados y 4 variedades de papa. Para los análisis de micronutrientes se usó la metodología ICP-OES.

Paget *et al.*, 2014 en sus estudios en papas diploides reportaron heredabilidades en sentido restringido para hierro y zinc (0.57, 0.55), cuando analizaron en peso seco. El material procesado fue procedente de Huánuco y Ayacucho (Perú). Asimismo, indicaron que, para la mejora nutricional, la explotación de efectos aditivos de genes en particular en la población diploide dará lugar a la mejora genética de micronutrientes importantes en tubérculos de papa. Además, si predomina la heredabilidad en sentido estrecho o varianza genética aditiva, las ganancias genéticas en el mejoramiento de micronutrientes serían muy rápidas, debido a que se podría realizar la selección individual y no basada en las familias como una estrategia de selección de micronutrientes importantes.

2.11.2 Heredabilidad para características agronómicas y materia seca

Mendoza, (2008) menciona que en papas tetraploides, las heredabilidades del número de tubérculos varia de 0.38 a 0.64 para número de tubérculos por planta, para el peso promedio por tubérculo 0.51 a 0.79, en cambio se reporta que las heredabilidades para rendimiento oscila entre 0.14 a 0.61 y para materia seca varia de 0.75 a 0.83 (**Cuadro 11** y **Cuadro 12**).

Cabello *et al.*, 2014 reportaron heredabilidades para rendimiento estimadas de los componentes de varianza de machos y hembras bajo condiciones de riego en papas del grupo andígenas fue de 0.68 y 0.41, sin embargo, en condiciones de sequía las heredabilidades fue solo de 0.18 y 0.06. Las heredabilidades para número de tubérculos y del peso promedio fue muy baja. El número de tubérculos fue reportado por Jefferies y MacKerrom, 1987 como un factor importante para calcular el rendimiento de tubérculos.

Cuadro 11. Heredabilidades para componentes de rendimiento en papas tetraploides

Descripción	Heredabilidad	Referencias
Número de tubérculos por planta	0.58	Thompson et al., 1983
	0.64	Thompson y Mendoza, 1984
	0.62	Zuñiga, 1989
	0.38	Salas, 2007
Peso promedio por tubérculo (g)	0.79	Thompson et al., 1983
	0.62	Mendoza, 1984
	0.61	Thompson y Mendoza, 1984
	0.52	Zuñiga, 1989
	0.51	Salas, 2007
Rendimiento de tubérculos (t/ha)	0.31	Mendoza, 1984
	0.61	Thompson y Mendoza, 1984
	0.48	Zuñiga, 1989
	0.47	Hernandez, 1989
	0.14	Huanco, 1990
	0.16	Marca, 1991
	0.29	Anguiz, 1993
	0.57	Salas, 2007

Rodrigues y Pereira, 2003 reportaron heredabilidades altas para los componentes de rendimiento, rendimiento de tubérculos (kg/parcela) de 0.83, número de tubérculos por

parcela (0.87) % y materia seca (0.72) en papas, cuando evaluaron genotipos de papa durante 4 generaciones (0.72).

Cuadro 12. Heredabilidades para calidad de tubérculos estimados en papas diploides

Descripción	Heredabilidad	Referencias
Materia seca	0.76	Hernández, 1989
	0.75	Amorós et al., 1993
	0.76	Amorós et al., 1993
	0.83	Amorós et al., 1993

FUENTE: Mendoza, 2008

2.11.3 Ganancia de selección (GS)

La ganancia de selección está en relación directa a tres factores: el diferencial de selección (ds), desviación fenotípica y heredabilidad (h^2).

$$GS (\%) = [(ds * h^2) / X_0] * 100$$

Diferencial de selección (ds): mide la diferencia entre el valor fenotípico medio de la descendencia de los padres seleccionados y la media de la generación parental antes de la selección ($\mu_s - \mu_f$) (Camarena *et al.*, 2009, Benites y Pinto, 2011).

Para maximizar la ganancia genética (GS) se debe elevar la intensidad de selección. Es decir que se debe seleccionar un menor número de individuos superiores en la población.

Intensidad de selección (i), Es el diferencial de selección estandarizado, dividido entre la desviación estándar fenotípica ds/σ_p . Las presiones de selección más comunes son de 5, 10 y 20 % (Camarena *et al.*, 2009).

A mayor h^2 se reduce la variancia ambiental utilizando ambientes más uniformes y aumentando la variancia genética utilizando progenitores no emparentados (Camarena *et al.*, 2009).

Benites y Pinto, (2011) determinaron la ganancia genética para gravedad específica en tubérculos de papa. Donde ds es la diferencia de la media del tratamiento de los ocho

clones seleccionados con la media de los 8 clones del ciclo previo. Obteniendo ganancias genéticas positivas.

Esplin, (2011) menciona que la generación de selección temprana para las características de color de hojuelas en frío (CC) de plántulas desarrollados a partir de cruzamientos 2x-2x, 4x-2x, 4x-4x muestra ganancias genéticas positivas.

Bosco y Leite, (2014), indica que la selección recurrente permitió una ganancia genética con un incremento anual hasta el sétimo ciclo de 11% para la resistencia al moho blanco y 15% para la arquitectura de la planta en frijol común.

Chaudhary *et al.*, (2012) reportaron ganancias genéticas en mijo de 47% para hierro y 56% para zinc.

Bradshaw, (2005) reportan estudios de mejoramiento por medio de selección recurrente para las características de apariencia de tubérculos, resistencia a tizón tardío y resistencia al nematodo, donde seleccionaron 108 clones en el primer ciclo, 27 clones en el segundo ciclo y 36 clones en el tercer ciclo, teniendo una ganancia de selección 28% para el primer ciclo, 32% en el segundo ciclo y 41% en tercer ciclo.

Benites y Pinto, (2011) estimaron la ganancia genética de tres ciclos de selección recurrente para tolerancia al calor de *S. tuberosum* donde evaluó 8 clones de la población base, 29 clones del primer ciclo, 32 del segundo ciclo y 30 clones del tercer ciclo y 4 controles, encontrando una ganancia genética de 37.8% para rendimiento, 32.4 % para el porcentaje de tubérculos largos, 0.8 % para gravedad específica y 16.6 % para apariencia de tubérculo.

Slater *et al.*, (2013) mencionaron que el mejoramiento convencional a través de la selección recurrente fenotípica puede ser lenta pero constante para características que tienen moderada y alta heredabilidad, pero para características de baja heredabilidad se puede obtener una ganancia rápida al realizar estimación de valores de mejoramiento.

2.11.4 Consideraciones genéticas para las relaciones entre hierro y zinc

Varios autores reportan que hay una relación genética entre el contenido hierro y zinc. Jin *et al.*, 2013 detectaron un total de 5 QTL significativos que controlaban el contenido Fe y Zn en los granos de maíz, 4 QTLs para Zn fueron identificados en los cromosomas 2, 5 y 10, mientras que, para el contenido de Fe, sólo se encontró un QTL en el cromosoma 5. Los QTL detectados para el contenido de Zn explicaron 5.85-17.57% de variación fenotípica, el QTL detectado para el contenido de Fe representó el 16.89% de la variación fenotípica. En sus estudios concluyeron que existen dos regiones candidatas dentro de los cromosomas asociados con QTLs para hierro y zinc en los granos de maíz.

Tiwari *et al.*, 2016 reportaron para trigo que se identificaron tres QTL; dos para Zn (1B y 2B) los cuales explican el 23.1 y 35.9 % de la variación fenotípica y un QTL (2B) co-localizado para Fe el cual explica el 22.2 % de la variación fenotípica, estos estudios fueron realizados en dos localidades en la India.

Mihovilovich *et al.*, 2014 reportaron que hay una co-localización significativa de QTL para Fe y Zn en el Cromosoma II y IX que podría explicar que el 40% de asociación de esos caracteres ($r = 0.63$) estos estudios fueron realizados con una progenie haploide de papas purpuras de los andes peruanos, procedentes de dos zonas contrastante, el mapeo se realizó usando tecnología de arreglos para diversidad (DARt).

2.12 FACTORES AMBIENTALES

Para comprender la productividad de la planta, se debe reconocer las relaciones suelo-planta existente. Algunos de los factores externos que controlan el crecimiento de las plantas son: humedad del suelo, aire, calor (temperatura), luz, soporte mecánico, nutrientes y agua.

a. Humedad del suelo

Las diferencias en la humedad del suelo como resultado de las lluvias, irrigación, tipo de suelo, evaporación y otros factores tienen un efecto en el contenido de materia seca de los tubérculos y sus cualidades de procesamiento (Talbert y Smith, 1975). La deficiencia de agua en el suelo, aún temporal, puede resultar en una reducción del rendimiento de la cosecha y cambios en la composición química de los tubérculos de papa. El contenido de

azúcar decrece cuando los suelos no son irrigados a su debido tiempo y en las tasas adecuadas. La irrigación durante el período de crecimiento hasta el final de la floración resulta en buena cosecha, con altos rendimientos de almidón y bajo contenido de azúcares reductores (Lisinska y Leszczynski, 1989).

b. Fertilidad del suelo

Es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que influyen en el crecimiento, desarrollo y producción de raíces, estolones y tubérculos. En general, los suelos fértiles son aquellos cuyas características físicas aseguran buena relación con el agua y aportan nutrientes en las cantidades que requieren las plantas (Egúsquiza y Catalan, 2011).

c. Fertilización

Los fertilizantes con nitrógeno no sólo incrementan el rendimiento, también afectan la composición química y calidad de los tubérculos de papa. Las tasas de nitrógeno incrementadas reducen el contenido de azúcar de los tubérculos principalmente glucosa (Lisinska y Leszczynski, 1989).

Los bajos contenidos en azúcares reductores son también demostrados cuando tasas bajas de nitrógeno son usadas en varias ocasiones durante la producción de papa (Lisinska y Leszczynski, 1989).

Fertilización orgánica: consiste en usar abonos orgánicos, los cuales mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Muñoz y Cruz, 1984; Neira, 1986; Valverde *et al.*, 1998; Oyarzún *et al.*, 2002).

d. Riego

Se pueden producir papas con todo tipo de riego; sin embargo, algunos son más adecuados que otros para la obtención de una alta calidad constante tubérculos. La naturaleza sensible de la papa al agua, combinado con su poca profunda zona radicular, favorece los sistemas de riego de goteo.

e. pH del Suelo

El pH del suelo expresa la concentración de los iones de hidrógeno (H^+) y está expresada en términos logarítmicos en una escala de 0 a 14. Números bajos de pH (de 0 a 7) significa acidez, siete neutral y números altos (de 8 a 10) alcalinidad. La mayoría de suelos de las zonas paperas tienen valores de pH entre ácidos y ligeramente ácidos (< 6.4). La papa cultivada en un suelo ácido tiene dificultad en absorber la mayoría de nutrientes que demanda la papa. A pH alcalinos la absorción del hierro y zinc disminuye drásticamente, y a pH muy ácidos el zinc a pH muy ácidos es tóxico para la planta (Figura 6) (Oyarzún *et al.*, 2002; Ibáñez, 2007).

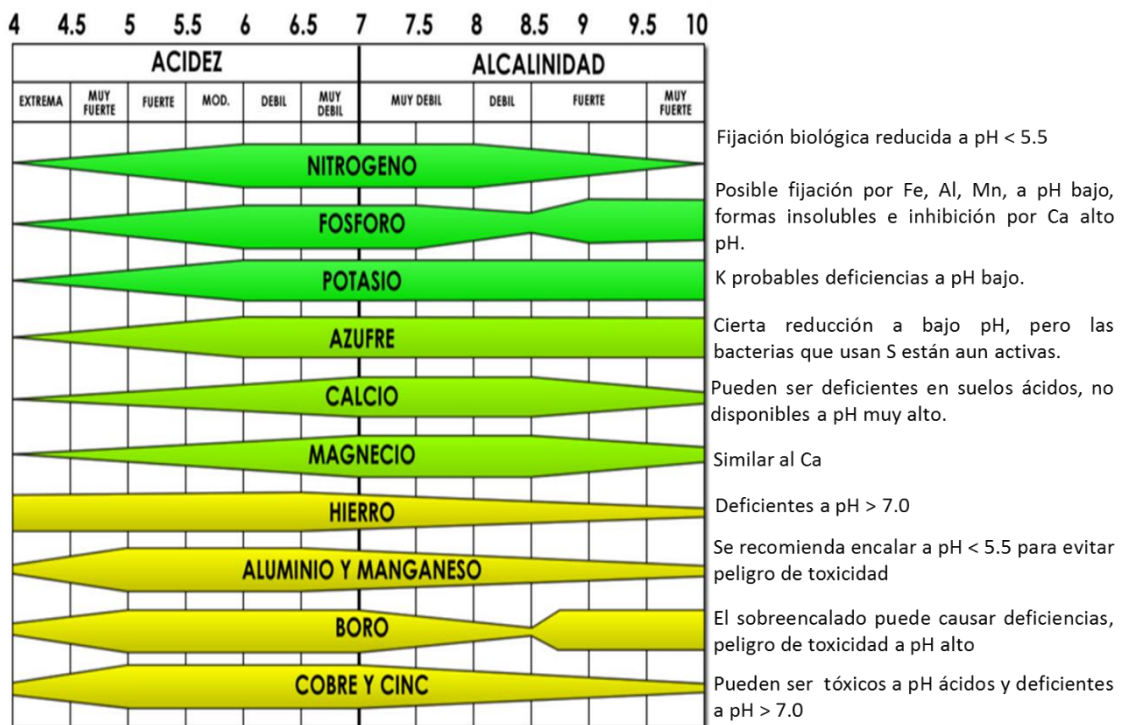


Figura 6. Efectos del pH en la disponibilidad de nutrientes en el suelo

FUENTE : (Oyarzún *et al.*, 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

3.1.1. Localización

El experimento se estableció en la localidad de Aco, Distrito de Paucartambo, Provincia de Cerro de Pasco, Región de Pasco, Perú con las siguientes coordenadas geográficas de: Latitud -10.76822, longitud -75.80617 y altitud de 2918 m.s.n.m. (**Figura 7**).

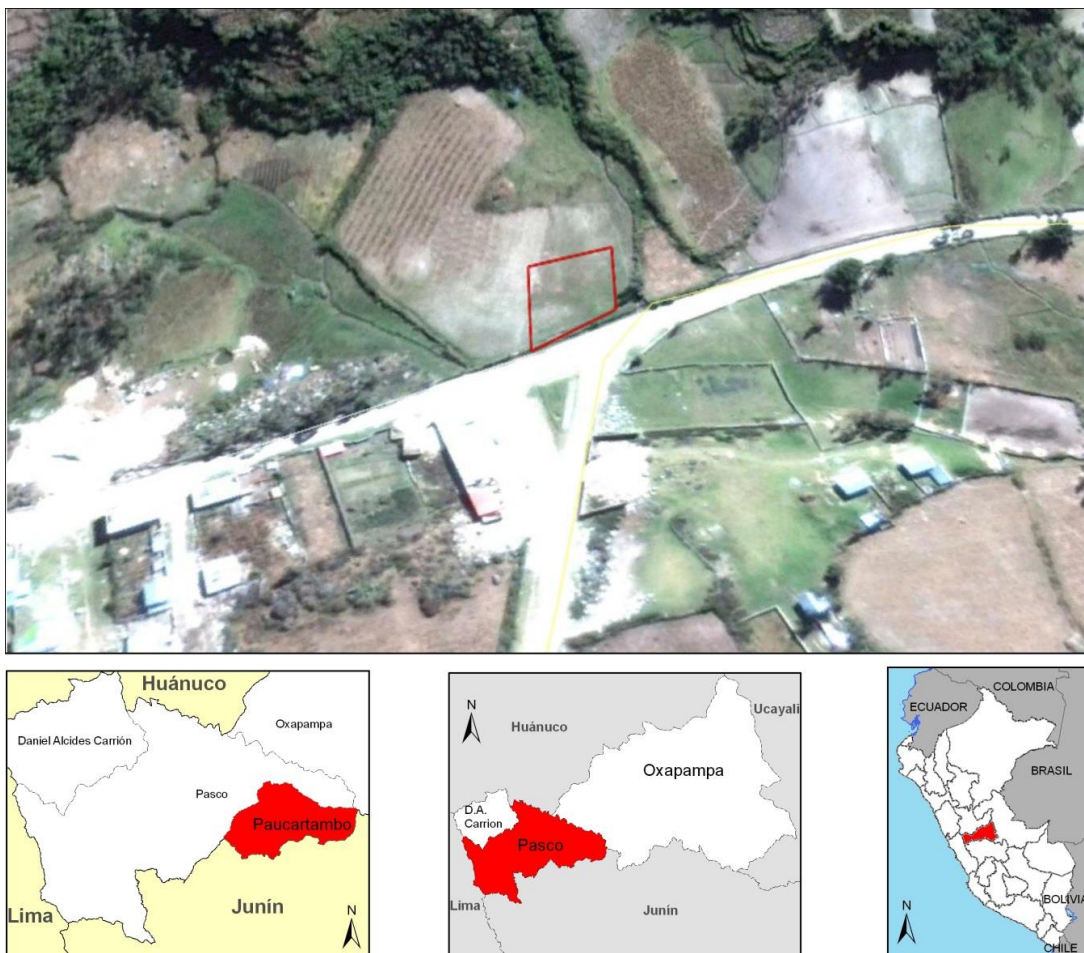


Figura 7. Mapa de ubicación de la parcela de experimentación en Aco, Paucartambo.

FUENTE: Elaboración área GIS de CIP

3.1.2. Condiciones de suelo

De acuerdo al análisis de suelo (**Cuadro 13, Anexo 1**) se determinó que Paucartambo tiene una textura Franco Arenoso, por su textura y topografía poseen buen drenaje natural, generalmente la porosidad, permeabilidad y capacidad de retención de la humedad son altas (Oyarzún *et al.*, 2002). Considerando la textura apropiada para el cultivo de papa, debido a que el cultivo requiere de suelos sueltos. El suelo donde se desarrolló la experimentación posee un pH fuertemente ácido 5.44, pero es adecuado para el cultivo de la papa, donde se considera un pH ideal entre 5.2 a 6.4 (FAO, 2008) y tiene alto porcentaje de materia orgánica, muy altos contenidos de fósforo, potasio y con una mediana conductividad eléctrica (Rioja, 2002; Espinoza *et al.*, 2013), con bajo contenido de nitrógeno y el contenido de micronutrientes para hierro fue 195 ppm y en zinc de 2.607 ppm.

Cuadro 13. Cuadro resumen de las principales características del análisis de suelo

Características	Valores
Arena	71.84±4.24
Limo	18.5±3.31
Arcilla	9.66±1.00
Clase textural	Franco Arenoso
pH del suelo	5.44±0.07
Conductividad eléctrica (ds/m)	0.91± 0.17
Fósforo disponible (ppm)	291.73± 10.6
% Materia orgánica	3.38± 0.25
% de Nitrógeno total	0.197± 0.01
Boro (ppm)	0.58±0.03
Potasio (ppm)	272.5±51.5
Cobre (ppm)	4.66±0.77
Hierro (ppm)	195.22±7.55
Zinc (ppm)	2.60±0.16

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelo, de Química Agrícola de Cañete. Lima 2015.

En el análisis de guano se observó que el contenido de micronutrientes de hierro fue 871 ppm y en zinc de 103.5 ppm (**Cuadro 14**).

Cuadro 14. Cuadro de las principales características del análisis de guano

Características	Valor
%CaCO ₃	4.28
Conductividad eléctrica a 25°C(dS/m)	9.9
pH a T=23°C	7.29
% Materia orgánica	50.42
% de Nitrógeno	1.86
Boro (ppm)	32.6
Cobre (ppm)	15
Hierro (ppm)	871
Zinc (ppm)	103.5
% Carbono orgánico	29.25

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Suelo, de Química Agrícola de Cañete. Lima 2015.

3.1.3. Condiciones medio ambientales

Durante el ensayo en campo se monitorearon los parámetros climatológicos como temperatura, humedad relativa y precipitación (mm), por medio de una estación meteorológica instalada en el campo (HOBOWARE, SA). Estos datos fueron analizados por el programa HOBOWARE.

Durante todo el ciclo del cultivo de papa, se presentó una temperatura promedio del ambiente de 12 °C, una temperatura adecuada para el cultivo de papas diploides, debido a que estos genotipos son de ciclos largos con temperaturas mínimas entre 3.8 °C a 7.8 °C y temperaturas máximas de 17.1 °C a 20 °C.

La humedad relativa oscilo entre 72.8% a 81.4% manteniéndose constante durante todo el experimento, encontrando valores máximos durante el mes de julio y valores mínimos en el mes de setiembre (**Cuadro 15** y **Figura 8**).

Cuadro 15. Valores promedios de temperatura (T °C), porcentajes de humedad relativa (% HR) y precipitación durante los meses de desarrollo del experimento

Variables/Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre
T °C Promedio	11.7	10.8	10.5	11.6	12.7	13.4
T °C Máxima	17.1	17.7	17.8	18.9	19.9	20.4
T °C Mínima	7.7	4.9	3.8	4.9	7.3	7.9
% HR Promedio	81.5	81.1	80	74	72.8	76.4
% HR Máxima	82.3	82	81.1	75	73.6	77.6
% HR Mínima	80.7	80.3	79.2	73.2	72.1	75.5
Precipitación mm	47.0	14.2	41.6	38.4	40.8	10.6

Registros cada 15 minutos

Promedios. Fecha de siembra 5 de Mayo, duración del ciclo de cultivo de papas diploides Mayo-Octubre.

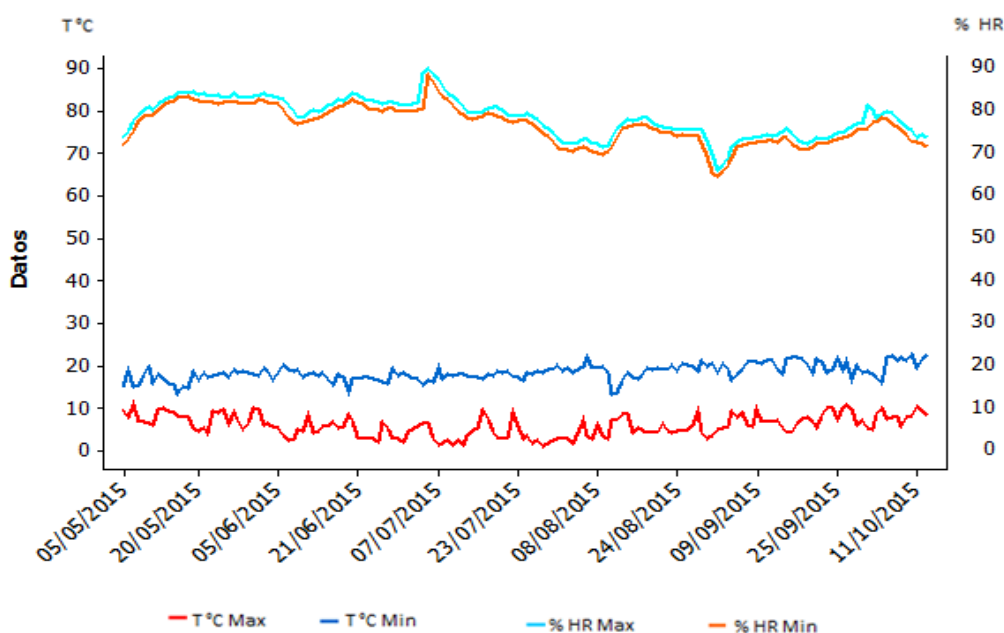


Figura 8. Temperatura del ambiente durante los meses de mayo a octubre en Paucartambo

3.2. MATERIALES

3.2.1. Material vegetal

Se utilizó 3 grupos de clones diploides producto del proceso de selección: 17 cultivares nativos diploides del grupo *S. stenotomum* (15) y *S. phureja* utilizados como población base, 4 clones del ciclo I (estos clones no prosperaron en campo), 21 clones del ciclo II y 22 clones del ciclo III, como se describe a continuación:

Población base (ciclo 0), está representado por papas diploides del grupo *Stenotomum* y *phureja* con una gran diversidad de formas y tamaños, encontrando papas con forma redondeadas, oblongas y alargadas con ojos profundos, con colores de piel muy variados desde amarillos, rojos, rosados, morados, algunos con manchas rosadas salpicadas (**Cuadro 16**).

Cuadro 16. Lista de cultivares de la población base (ciclo 0)

Número	Genotipo	Nombre de la variedad	Código de mejorador	Ciclo	Grupo
1	CIP702736	Puka Mikush	PPP EE-998a	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
2	CIP703280	Puka Chaucha	OCH 11589	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
3	CIP703312	Morada Turuna	JAK 248	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
4	CIP703317	Chingos	HUA 979	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
5	CIP702815	Morar Nayra Mari	LOP 828	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
6	CIP703291	Rosca	CCC 4705	Ciclo 0	<i>S. phureja</i>
7	CIP703825	China Runtush	OCH 5648	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
8	CIP704393	María Cruz	OCH 4858	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
9	CIP701165	Calhua Rosada	PPP 1165	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
10	CIP703168	Puca Pishgush	CUH 327	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
11	CIP703831	Pampina	OCH 5685	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
12	CIP700313	Cuchipa Ismaynin	PPP SS-1356	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
13	CIP703197	Yana Shucre	CUH 368	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
14	CIP704481	Amarilla	OCH 6494	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
15	CIP703287	Azul Sonq'o o Q'eqorani	OCH 7554	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
16	CIP703421	Poluya	HUA 775	Ciclo 0	<i>S. stenotomum</i>
17	CIP704218	Yema de Huevo	CCC 4243	Ciclo 0	<i>S. phureja</i>

Población del ciclo II

La población del ciclo II tienen características muy similares a la población base, con tubérculos de formas redondeadas, alargadas con ojos profundos y muy profundos, y con diferentes tonalidades del color de piel desde crema, amarilla intenso, rosado, rojo, morado y negro. Mostrando que el material usado tiene una alta variabilidad genética (**Cuadro 17**).

Cuadro 17. Lista de genotipos de la población del ciclo II

Número	Genotipo	Código de mejorador	Parental Femenino	Parental masculino
1	CIP306140.140	MN-1.140	CIP303887.101	CIP303835.111
2	CIP306140.78	MN-1.78	CIP303887.101	CIP303835.111
3	CIP306416.68	MN-3.68	CIP303887.101	CIP303888.41
4	CIP306417.79	MN-7.79	CIP303887.111	CIP303888.41
5	CIP306513.57	MN-9.57	CIP303887.171	CIP303835.111
6	CIP306514.64	MN-10.64	CIP303887.171	CIP303828.201
7	CIP306143.62	MN-13.62	CIP303887.61	CIP303835.111
8	CIP306143.65	MN-13.65	CIP303887.61	CIP303835.111
9	CIP306143.122	MN-13.122	CIP303887.61	CIP303835.111
10	CIP306087.56	MN-14.56	CIP303887.61	CIP303828.201
11	CIP306087.72	MN-14.72	CIP303887.61	CIP303828.201
12	CIP306087.132	MN-14.132	CIP303887.61	CIP303828.201
13	CIP306418.1	MN-15.1	CIP303887.61	CIP303888.41
14	CIP306418.53	MN-15.53	CIP303887.61	CIP303888.41
15	CIP306418.69	MN-15.69	CIP303887.61	CIP303888.41
16	CIP306018.4	MN-16.4	CIP303887.61	CIP303803.161
17	CIP306018.66	MN-16.66	CIP303887.61	CIP303803.161
18	CIP306154.126	MN-17.126	CIP303826.21	CIP303835.191
19	CIP306022.69	MN-20.69	CIP303826.21	CIP303803.181
20	CIP306155.68	MN-25.68	CIP303826.41	CIP303835.191
21	CIP306155.73	MN-25.73	CIP303826.41	CIP303835.191

Población del ciclo III

La población del ciclo III conserva características de la población base y de los ciclos previos, con tubérculos de formas redondeadas, alargadas, oblongas, con ojos profundos, con diferentes tonalidades del color de piel y de pulpa desde crema, amarilla intenso, rosado, rojo, morado y negro. Se muestra que el material usado tiene alta la variabilidad genética (**Cuadro 18**).

Cuadro 18. Lista de genotipos de la población del ciclo III

Número	Genotipo	Código de mejorador	Parental Femenino	Parental masculino
1	CIP311103.30	M3-47.30	CIP306418.55 (MN-15.55)	CIP703274 (Ch'apiña)
2	CIP311209.16	M3-17.16	CIP703312 (Morada Turuna)	CIP306417.53 (MN-7.53)
3	CIP311576.5	M3-28.5	CIP705799	CIP306418.52 (MN-15.52)
4	CIP311097.55	M3-5.55	CIP306418.52	CIP306416.68 (MN-3.68)
5	CIP311420.14	M3-10.14	CIP704120 (Puka Chaucha)	CIP306416.68 (MN-3.68)
6	CIP311420.19	M3-10.19	CIP704120 (Puka Chaucha)	CIP306416.68 (MN-3.68)
7	CIP311420.74	M3-10.74	CIP704120 (Puka Chaucha)	CIP306416.68 (MN-3.68)
8	CIP311622.35	M3-14.35B	CIP706753 (Yema de Huevo)	CIP306416.68 (MN-3.68)
9	CIP311083.21	M3-15.21	CIP306416.68 (MN-3.68)	CIP306417.53 (MN-7.53)
10	CIP311083.5	M3-15.5	CIP306416.68 (MN-3.68)	CIP306417.53 (MN-7.53)
11	CIP311166.10	M3-16.10A	CIP703274 (Ch'apiña)	CIP306417.53 (MN-7.53)
12	CIP311339.114	M3-18.114	CIP703597	CIP306417.53 (MN-7.53)
13	CIP311339.2	M3-18.2	CIP703597	CIP306417.53 (MN-7.53)
14	CIP311575.103	M3-19.103	CIP705799	CIP306417.53 (MN-7.53)
15	CIP311575.064	M3-19.64	CIP705799	CIP306417.53 (MN-7.53)
16	CIP311623.105	M3-21.105	CIP706753 (Yema de Huevo)	CIP306417.53 (MN-7.53)
17	CIP311623.75	M3-21.75	CIP706753 (Yema de Huevo)	CIP306417.53 (MN-7.53)
18	CIP311623.123	M3-21.123	CIP706753 (Yema de Huevo)	CIP306417.53 (MN-7.53)
19	CIP311422.14	M3-26.14	CIP704120 (Puka Chaucha)	CIP306418.52 (MN-15.52)
20	CIP311166.3	M3-16.3	CIP703274 (Ch'apiña)	CIP306417.53 (MN-7.53)
21	CIP311422.19	M3-26.19	CIP704120 (Puka Chaucha)	CIP306418.52 (MN-15.52)
22	CIP311422.33	M3-26.33	CIP704120 (Puka Chaucha)	CIP306418.52 (MN-15.52)

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), considerando los ciclos como tratamientos (17 cultivares del Ciclo 0, 4 genotipos del Ciclo I, 21 genotipos del Ciclo II y 22 genotipos del Ciclo III), con cuatro repeticiones. Se sembró 10 tubérculos por genotipo y repetición, a un distanciamiento de 0.30 entre plantas x 0.90 m entre surcos. El tamaño de parcela neta fue 2.7 m² (**Figura 9**).

Modelo lineal usado en el diseño de Bloque: $Y_{ij} = \mu + \beta_j + T_i + \epsilon_{ij}$

Dónde:

β_j = Efecto del j-ésimo bloque (debido a la heterogeneidad de suelo).

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (ciclos)

ϵ_{ij} = Efecto del error en el j-ésimo bloque e i-ésimo tratamiento

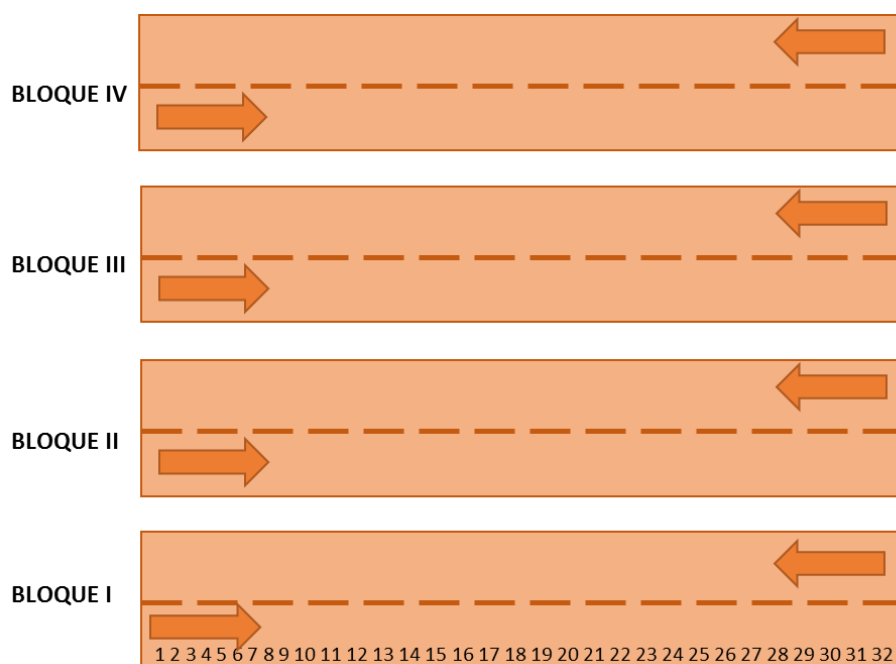


Figura 9. Croquis del campo en la siembra de Paucartambo

3.4. VARIABLES AGRONOMICAS EVALUADAS EN CAMPO

En la cosecha se procedió a tomar las siguientes evaluaciones

- **Número de plantas cosechadas:** se procedió al conteo del número de plantas por cada genotipo y repetición.
- **Número total de tubérculos por planta:** conteo del número total de tubérculos por genotipo y repetición (**Figura 10**).
- **Peso total de tubérculos por parcela:** se colocó los tubérculos de cada genotipo por repetición en mallas de polietileno y se midió con una balanza digital de mano de 40 kilos.
- **Peso promedio de tubérculos (g):** calculó realizado entre el peso total de tubérculos y el número total de tubérculos por planta multiplicado por 1000.
- **Rendimiento de tubérculos (t/ha):** calculó realizado entre el peso total de tubérculos dividido entre el tamaño de parcela por 10 (De Haan *et al.*, 2014).



Figura 10. Conteo del número de tubérculos en la cosecha

3.5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de ganancia genética de los ciclos recurrentes, se analizó genotipos correspondientes al ciclo 0, II y III. Se obtuvieron muestras para análisis de micronutrientes de los 55 genotipos que mostraron el número suficiente y mejor apariencia de tubérculos. El rendimiento se evaluó en todos los genotipos. Se consideró para el análisis estadístico las siguientes variables cuantitativas: rendimiento, número de tubérculos por planta, peso promedio de tubérculos, contenido de materia seca y las concentraciones de hierro y zinc. Se determinó la heredabilidad en sentido amplio y la ganancia genética en los ciclos de selección II y III.

3.5.1. Análisis estadístico

Los datos de todas las características evaluadas se sometieron a la prueba de Shapiro y Wilk (1965), que permitió determinar si cumplían o no con el supuesto de normalidad de sus residuales, mediante el programa R. Después de analizar las variables se realizó una transformación logarítmica para el peso promedio de tubérculos debido a que no cumplió los supuestos de normalidad de datos.

El análisis de varianza se realizó para un modelo de efectos aleatorios bajo el diseño de bloques al azar considerando como fuente de variación “ciclos” como tratamientos, para este análisis se utilizó los promedios de cada bloque. Después de determinar el grado de significancia se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba Tukey para cada característica de este estudio (hierro, zinc, materia seca y los componentes de rendimiento).

Después se realizó el análisis de variancia para cada ciclo considerando como fuente de variación “los genotipos”. Se usó el programa SAS 2003. En el Cuadro 19, se presenta el ANOVA, sus componentes y los cuadrados medios esperados para un diseño DBCA.

Cuadro 19. Análisis de variancia para un diseño DBCA

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	Prueba F
Bloques	SC _{bloq}	r-1	CM _{bloq}	F _{bloq} =CM _{bloq} / CM _E
Clones	SC _A	t-1	CM _A	F _A =CM _A / CM _E
Residual	SCE	(t-1) (r-1)	CM _E	
Total	SCT	tr-1		

Para la comparación de medias se realizó la prueba de Tukey, el cual permite la comparación de las medias de grupo de datos y determinar si hay diferencias estadísticas significativas entre los genotipos para las variables de estudio. Se usó el coeficiente de Pearson para determinar si existía asociación entre las diferentes variables de estudio, variables de micronutrientes y los componentes de rendimiento, usando el programa R.

3.5.2. Estimación de la heredabilidad por el método de los componentes de varianza

La estimación de la heredabilidad en sentido amplio (h^2) a partir de los componentes de varianza es un método que permite a los fitomejoradores la utilización de datos normalmente disponibles en un programa de mejoramiento (Borem *et al.*, 2008).

Se realizó un análisis de varianza para los genotipos en cada ciclo, con repeticiones bajo un diseño de bloques completamente al azar evaluados en una localidad (**Cuadro 20**).

Cuadro 20. Análisis de varianza del experimento con genotipos evaluados en cada ciclo en una localidad

Fuentes de Variación	GL	CM	E(CM)
Repetición (r)	r-1	---	-----
Genotipos (g)	g-1	CM ₂	$\sigma^2_e + r \sigma^2_g$
Error (e)	(g-1) (r-1)	CM ₁	σ^2_e

Analizando los componentes de varianza pertinentes se llega a las siguientes expresiones

Varianza genética $\sigma^2_g = (CM_2 - CM_1) / r$

Varianza del error $\sigma^2_e = CM_1$

Varianza fenotípica $\sigma^2_p = \sigma^2_g + (\sigma^2_e)/r$

La heredabilidad en sentido amplio: Según Borem *et al.*, 2008, Hallauer y Miranda, 1981, Wricke y Ebernehard, 1986; Kempton y Fox, 1997 y Hallauer *et al.*, 2010:

$$H^2 = \sigma^2_g / \sigma^2_p$$

El error de la heredabilidad (SE h^2) o denominado también desviación estándar calculado según Hallauer y Miranda, 1981

$$SE (h^2) = SE (\sigma^2_g) / (\sigma^2_p)$$

A partir de las medias de los genotipos donde:

r = repeticiones

M = cuadro medio de los genotipos

n= número de genotipos

$$SE (\sigma^2_g) = 2/ r^2 [M^2 / (n+1)]$$

3.5.3. Estimación de la Ganancia genética

La Ganancia genética (GG), fue calculado usando la siguiente expresión según Benites y Pinto, 2011

$$GG(\%) = [(ds. h^2) / X_0] \times 100$$

Donde

GG: es la ganancia esperada con la selección de hierro y zinc a través de los ciclos expresado en porcentaje.

ds: es el diferencial de selección calculado como la diferencia entre la media del ciclo seleccionado menos la media del ciclo previo (X_0).

Se calculó ds del ciclo II – ciclo 0, ciclo III- ciclo II y el ciclo III – Ciclo 0

h^2 : Heredabilidad en sentido amplio

X_0 : Media del ciclo previo seleccionado.

3.6. METODOLOGÍA

3.6.1. Introducción y multiplicación *IN VITRO*

Por la falta de disponibilidad de material *in vitro* de las poblaciones del ciclo I y III, se procedió a la introducción respectiva. En el 2013 se obtuvieron esquejes de los clones del ciclo I y III procedentes de campo, este material fue adaptado en cámaras de crecimiento a una temperatura de 20 °C, con 12 horas luz y 80% de humedad hasta obtener plántulas bien establecidas, luego se procedió a cortar trozos de tallos para extraer las yemas, y ser introducidas en medios de cultivo para su multiplicación la cual fue realizada en el Laboratorio de *IN VITRO* de Universidad Agraria La Molina (**Figura 11**) siguiendo los protocolos estandarizados de introducción y multiplicación del CIP.

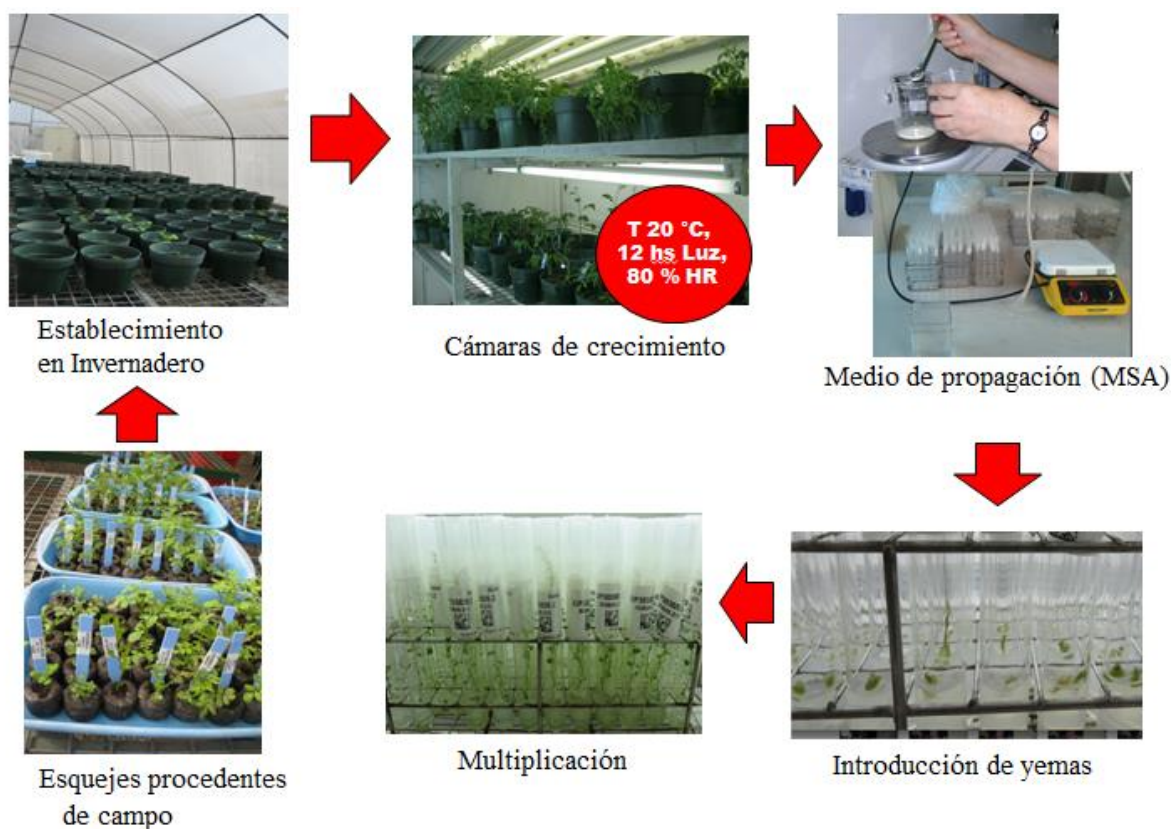


Figura 11. Introducción y multiplicación *IN VITRO*.

FUENTE: Elaboración propia

3.6.2. Manejo de las plántulas *in vitro* en el invernadero

En el 2013, se solicitaron 20 plántulas *in vitro* de cada genotipo del ciclo 0, II del Banco de germoplasma del CIP.

Las plántulas procedentes de *in vitro* de 5 a 8 cm fueron desinfectadas y trasplantadas en medio gift, después de 15 días fueron trasplantadas en bolsas de plástico que contenían como sustrato, arena y materia orgánica hasta la tuberización respectiva de los genotipos como se muestra en la Figura 12. Esta multiplicación de semillas fue realizada en los invernaderos de CIP-Huancayo para producir la primera generación de semillas de tubérculos. Las semillas de tubérculos cosechados se utilizaron en la instalación del experimento de campo en el 2015.



Figura 12. Manejo de plántulas *IN VITRO* en Invernadero.

FUENTE: Elaboración propia

3.6.3. Evaluación agronómica

La instalación del ensayo se realizó en mayo del 2015 con una previa limpieza del terreno de forma mecánica, la preparación del terreno consistió en varias aradas. La siembra de los genotipos de los tres ciclos se efectuó bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con una distancia entre plantas de 0.3m y entre surcos de 0.9m.

En la Fertilización: el tipo de fertilizante utilizado fue Nitrato de amonio (33%), Superfosfato Triple (46%) y Sulfato de potasio (50%); los cuales se mezclaron con el sustrato.

Respecto al manejo fitosanitario, se realizó el control de las plagas de papa usando insecticidas como cipermetrina, abamectina (insecticida y acaricida) y dimetoato y fungicidas Benomil, Clorotalonil y Fluopicolide – Propamocarb en diferentes proporciones (Cuadro 21). Asimismo, se aplicó un bioestimulante no hormonal llamado Biofarm el cual contiene aminoácidos libres, que estimulan el crecimiento de las plantas.

La cosecha se realizó 5 meses después de la siembra, y se seleccionó los mejores tubérculos para el análisis de micronutrientes, estas muestras fueron previamente etiquetadas.

Cuadro 21. Lista de productos usados en el manejo de campo

Tipo	Ingrediente activo	Producto	Dosis de aplicación	Medida aplicada	Número de aplicaciones
Fungicida	Farmate	Benomyl	500 g/kg	30 g/ 20L	1
Fungicida	Bravo	Clorotamil	700 g/L	40 ml/20L	7
Fungicida	Infinito	Fluopicolide-propamocarb	62.5 g/L	50 ml/20L	2
Insecticida	Sherpa	cipemetrina	250 g/L	20 ml/20L	4
Insecticida		abamectina	18 g/L	20 ml/20L	3
Bioestimulante	Aminofarm			20 ml/20L	1

3.6.4. Determinación del contenido de minerales Fe y Zn en los tubérculos

3.6.4.1. Preparación de la muestra

Inmediatamente después que los tubérculos son cosechados, fueron transportados al laboratorio de Calidad y Nutrición del CIP La Molina, donde se seleccionó 15 tubérculos por repetición y se etiquetó respectivamente cada muestra seleccionada. Después los tubérculos son lavados con abundante agua para remover cualquier residuo del suelo que podría producir contaminación y secados a temperatura ambiente para ser almacenados en bolsas de papel kraf a una temperatura de 5 °C hasta la preparación de las muestras.

Para el análisis de minerales hierro y zinc, cada muestra fue preparada a partir de 6 tubérculos uniformes, los cuales fueron cortados longitudinalmente en 4 secciones.

De cada selección se obtuvo varias rodajas, las cuales fueron colocadas en una bolsa de polietileno previamente etiquetada, luego fue pesada hasta obtener una muestra de 50 g, las rodajas de papa fueron distribuidas homogéneamente dentro de la bolsa de polietileno y fue almacenada en un congelador a -20 °C hasta la liofilización la cual se realizó por un periodo de 72 hrs., este periodo permite que la humedad residual llegue a ser menor a 3% (Porras *et al.*, 2014) (**Figura 13**).

Luego se pesó las muestras secas que nos permite calcular el contenido de materia seca. Una vez que las muestras estén liofilizadas, se procedió a molerlas y luego se guardó en bolsas de plástico Whirl-Pak a temperatura ambiente hasta su análisis por el método de XRF (Porras *et al.*, 2014).



Figura 13. Procedimiento de las muestras para liofilización.

FUENTE: Elaboración propia

3.6.4.2. Determinación del contenido de minerales Fe y Zn

La determinación del contenido de Fe y Zn se realizó por la metodología de espectrometría de fluorescencia de rayos-X (XRF). La XRF es una técnica ampliamente usada para el análisis elemental en la minería, en la industria y cada vez más en la investigación, que consiste en analizar la radiación X característica generada por una muestra al ser ésta irradiada con rayos-X (Sosa *et al.*, 2014).

El CIP adquirió un analizador XRF X-Supreme 8000 que permite un análisis rápido. El analizador de XRF fue previamente calibrado con muestras de referencia de concentraciones conocidas de los elementos Fe y Zn, estas muestras fueron seleccionadas porque representaron una amplia gama de concentraciones de Fe y Zn. Estas muestras estaban libres de contaminación, el Al y Ti se utilizaron como indicadores de la contaminación del suelo y el polvo, en cambio el Cr se utilizó como indicador de la contaminación por el deterioro de elementos de laboratorio y equipos utilizados (Sosa *et al.*, 2014). Después que las muestras fueron liofilizadas y molidas se colocaron en un recipiente de aluminio la superficie fue cubierta con un film de polipropileno para evitar

que se contamine o se dañe. Luego se ingresó cada muestra en el analizador de XRF para las lecturas respectivas de Fe y Zn (**Figura 14**).



Figura 14. Procedimiento de las muestras por la lectura de XRF

FUENTE: Sosa *et al.*, 2014

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DETERMINACIÓN DE VARIANCIA ENTRE CICLOS DE SELECCIÓN

Se realizó el análisis de variancia para las variables hierro, zinc, porcentaje de materia seca (**Cuadro 22**) bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) en la localidad de Paucartambo. Se observó que existen diferencias altamente significativas entre los ciclos para hierro mg kg⁻¹ en peso seco, zinc mg kg⁻¹ en peso seco, el contenido de materia seca y los componentes de rendimiento excepto para el rendimiento de tubérculos. También se observa que no hay diferencia significativa entre los bloques, permitiendo realizar una comparación entre cada ciclo, además de indicar la uniformidad de la parcela experimental, mostrando coeficientes de variación en el rango de 1.1 a 10.8 %.

Cuadro 22. Análisis de variancia para las variables de micronutrientes (hierro, zinc), el contenido de materia seca y los componentes de rendimiento.

Fuentes de Variabilidad	gl	Hierro mg kg ⁻¹		Zinc mg kg ⁻¹		% de Materia Seca		Nro. de tubérculos por planta		Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)		Peso promedio de tubérculos (g)	
		CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F
Bloques	3	0.14		1.1		0.5		2		3.9		0.57	
Ciclos	2	77.6	***	35.15	***	7.9	***	57.3	***	1.2		0.0005	***
Error	6	0.09		0.5		0.06		0.8		4.3		0.001	
Total	11	156.3		76.5		17.5		125.5		39.6		0.1	
%CV		1.1		3.5		1.1		6.9		10.8		2.5	
Promedio		28.5		20.4		23.5		12		19.1		1.6 (49.7g)	
r²		0.99		0.95		0.98		0.96		0.4		0.9	

*** Altamente significativo a P < 0.001

4.1.1 Diferencias de medias del contenido de micronutrientes y los componentes de rendimiento entre cada ciclo.

Al realizar la prueba de tukey para el contenido de hierro y zinc, se encontró diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre la población original (ciclo 0), los ciclos II y III. En el ciclo III se tiene el mayor contenido de hierro y zinc con un promedio de 33.1 y 23.6 mg kg^{-1} en base de peso seco respectivamente.

En el contenido de materia seca existe diferencia significativa entre los ciclos 0, II y III, mostrando un aparente retroceso, en el ciclo III muestra el menor valor con una media de 21.9 % (**Cuadro 23**).

En el peso promedio de tubérculos se realizó una transformación logarítmica, y se observa que hay diferencias significativas entre los ciclos 0, II y III, con un valor promedio es 49.7 g.

No hay diferencias significativas entre las medias de los ciclos para rendimiento de tubérculos, se mantiene constante en los diferentes ciclos, a diferencia de los reportes de algunos autores que indican que al incrementar las concentraciones de hierro y zinc hay pérdidas en esta característica.

Cuadro 23. Diferencias de medias del contenido de micronutrientes, materia seca y componentes de rendimiento.

Ciclos	N	Hierro mg kg^{-1}	Zinc mg kg^{-1}	% de Materia seca	Nro. de tubérculos por planta	Rendimiento de tubérculos (tha^{-1})	Peso promedio de tubérculos(g)
Ciclo III	4	33.1 $\pm 0.4^a$	23.6 $\pm 0.6^a$	21.9 $\pm 0.6^c$	16.2 $\pm 0.9^a$	19.6 $\pm 1.9^a$	35.3 $\pm 3.8^c$
Ciclo II	4	28.2 $\pm 0.3^b$	19.9 $\pm 0.2^b$	23.9 $\pm 0.3^b$	11.0 $\pm 1.6^b$	19.2 $\pm 2.5^a$	51.2 $\pm 5.1^b$
Ciclo 0	4	24.3 $\pm 0.3^c$	17.7 $\pm 1.3^c$	24.5 $\pm 0.5^a$	8.8 $\pm 0.3^c$	18.1 $\pm 1.5^a$	62.7 $\pm 4.1^a$

Las letras simbolizan la significación según la prueba de tukey

4.2 GANANCIAS GENÉTICAS DE MICRONUTRIENTES

4.2.1 Ganancia Genética en la concentración de hierro

La ganancia genética en los ciclos de selección recurrente está basada en las medias de las poblaciones de estudio las cuales fueron obtenidos de los datos originales por repeticiones (**Anexo 3**). Se puede observar que a medida que aumenta el ciclo de selección recurrente la media en el contenido de hierro aumenta considerablemente, con medias de 24.32 a 33.11 mg kg⁻¹ en base de peso seco (**Figura 15**). Al calcular la ganancia genética para hierro hay un 15.11 % de incremento en el ciclo II con respecto al ciclo 0, un 16.26 % en el ciclo III respecto al ciclo II, consecuentemente un incremento de 33 % en el ciclo III con respecto al ciclo 0 (**Cuadro 24**).

Cuadro 24. Parámetros genéticos para el contenido de Fe

Ciclos	ds	h ²	(ds.h ²)	X ₀	GG	Rangos de Fe (mg kg ⁻¹)
Ciclo III-0	8.79	0.93	8.21	24.32	33.73	24.4 - 42.8
Ciclo III-II	4.91	0.93	4.59	28.20	16.26	21.5 - 38.6
Ciclo II- 0	3.87	0.95	3.68	24.32	15.11	17.6 - 32.2

ds: es el diferencial de selección, h²: Heredabilidad en sentido amplio, X₀: Media del ciclo previo seleccionado.

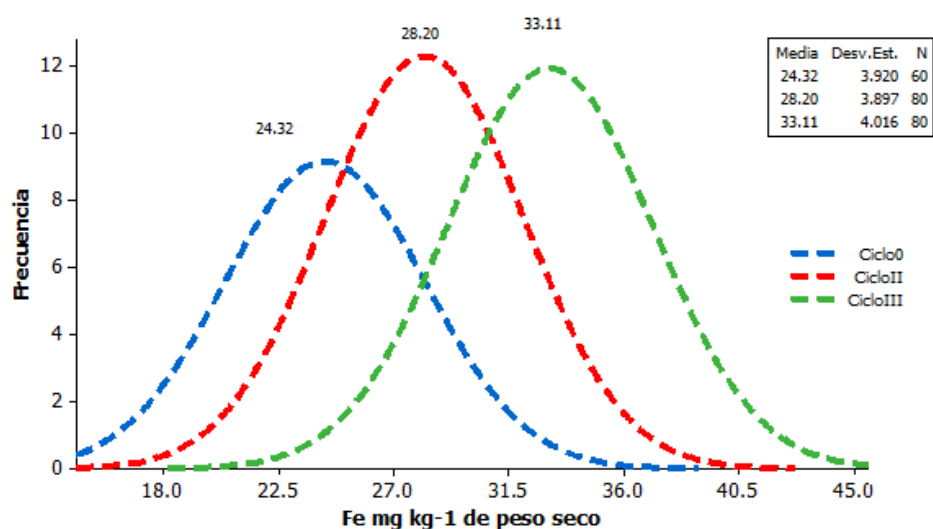


Figura 15. Ganancia genética en el contenido de hierro (ciclo III > ciclo II > ciclo 0).

4.2.2 Ganancia Genética en la concentración de zinc.

Se observa un incremento considerable de la concentración de zinc a través de los ciclos de selección de 17.7 a 23.6 mg kg⁻¹ en peso seco (Figura 16). Y la ganancia genética para zinc fue 11.06 % de incremento en el ciclo II con respecto al ciclo 0, y de 14.74 % en el ciclo III con respecto al ciclo II consecuentemente se obtuvo una ganancia de 26.63% en el ciclo III respecto a la población base (ciclo 0) (Cuadro 25).

Cuadro 25. Parámetros genéticos para el contenido de Zn

Ciclos	ds	h ²	(ds.h ²)	X ₀	GG	Rangos de Zn (mg kg ⁻¹)
Ciclo III-0	5.86	0.81	4.72	17.73	26.63	14.6 - 33.1
Ciclo III-II	3.65	0.81	2.94	19.95	14.74	13.6 - 28.2
Ciclo II- 0	2.21	0.89	1.96	17.73	11.06	10.8 - 27.2

ds: es el diferencial de selección, h²: Heredabilidad en sentido amplio, X₀: Media del ciclo previo seleccionado

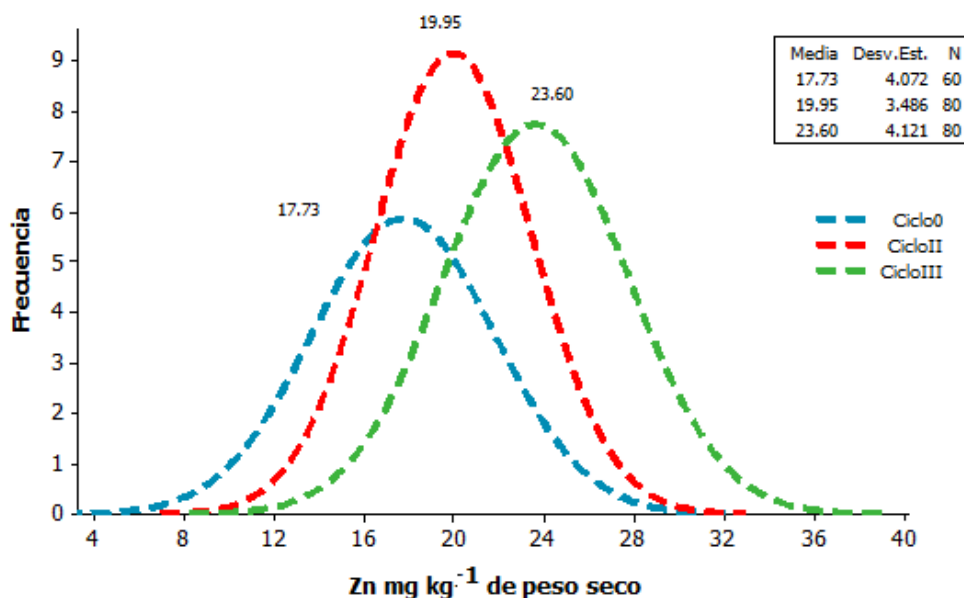


Figura 16. Ganancia genética en el contenido de Zinc (ciclo III > ciclo II > ciclo 0)

Los resultados en este estudio de ganancia genética en el contenido de hierro y zinc son moderados comparado a otros cultivos donde se ha observado mayores incrementos, como es el caso de mijo en que reporta ganancias genéticas 47% para hierro y 56 % para zinc. Chaudhary *et al.*, (2012). Asimismo, la ganancia genética puede estar enmascarada por factores ambientales, que pueden minimizar la expresividad de la capacidad genética de los genotipos, Salas *et al.*, (2012) reportaron que, por la complejidad de la acumulación de hierro y zinc en los tubérculos de papa, la baja heredabilidad y alta interacción genotipo ambiente haría esperar que los avances genéticos sean más lentos que para otras características. Shuman, (1998); Frossard *et al.*, (2000) indican que las propiedades del suelo, tales como el pH del suelo, textura del suelo, condiciones redox, contenido de óxido de hierro y aluminio, capacidad de intercambio catiónico, la actividad microbiana, la materia orgánica, contenido de agua, condiciones de humedad, influyen en la disponibilidad de micronutrientes en las plantas.

La ganancia genética también puede ser mejorada con aplicación de fertilizantes principalmente para contenido de zinc como lo reportan los siguientes autores, para el caso de granos frutos y otros cultivos en que las concentraciones de zinc y calcio puede ser aumentada con aplicaciones de fertilizantes foliares (Frossard *et al.*, 2000), Otros fertilizantes como nitrógeno también podrían influenciar en las concentraciones de micronutrientes Cakmak *et al.*, (2010); Kutman *et al.*, (2011), White *et al.*, (2002), Šrek *et al.*, (2010); Wilson *et al.*, (2014). Bradshaw (2005) indica que se puede observar mayores ganancias genéticas después del tercer ciclo, sin embargo, Bosco y Leite, (2014), indicaron que el incremento de ganancia genética se mantiene aún después del séptimo ciclo.

4.3 CONSECUENCIAS GENÉTICAS

4.3.1 Consecuencias genéticas en el contenido de materia seca

Se observó una disminución en el contenido de materia seca a través de los ciclos de selección con medias de 24.6 para ciclo 0, 23.90 en el ciclo II y 21.90 en el ciclo III. (**Figura 17**), este aparente retroceso en el porcentaje de materia seca parece estar asociado negativamente al incremento de hierro y zinc en los tubérculos como lo reporta Paget *et al.*, (2014), en el cual menciona que existe una correlación genética negativa entre los minerales y el contenido de materia seca, en una población diploide. Los resultados muestran una pérdida de 2.47 % en el ciclo II con respecto al ciclo 0 y 8.07 % en el ciclo III respecto al ciclo II, consecuentemente 10.58 % de reducción del ciclo III con respecto a la población base (**Cuadro 26**). Para poder disminuir esta pérdida es necesario incluir clones con altos contenidos de materia seca en los siguientes ciclos.

Cuadro 26. Parámetros genéticos para el porcentaje de materia seca

Ciclos	ds	h ²	(ds.h ²)	X ₀	GG
Ciclo III-0	-2.70	0.96	-2.60	24.63	-10.68
Ciclo III-II	-2.00	0.96	-1.93	23.90	-8.07
Ciclo II- 0	-0.70	0.87	-0.61	24.63	-2.47

ds: es el diferencial de selección, h²: Heredabilidad en sentido amplio, X₀: Media del ciclo previo seleccionado

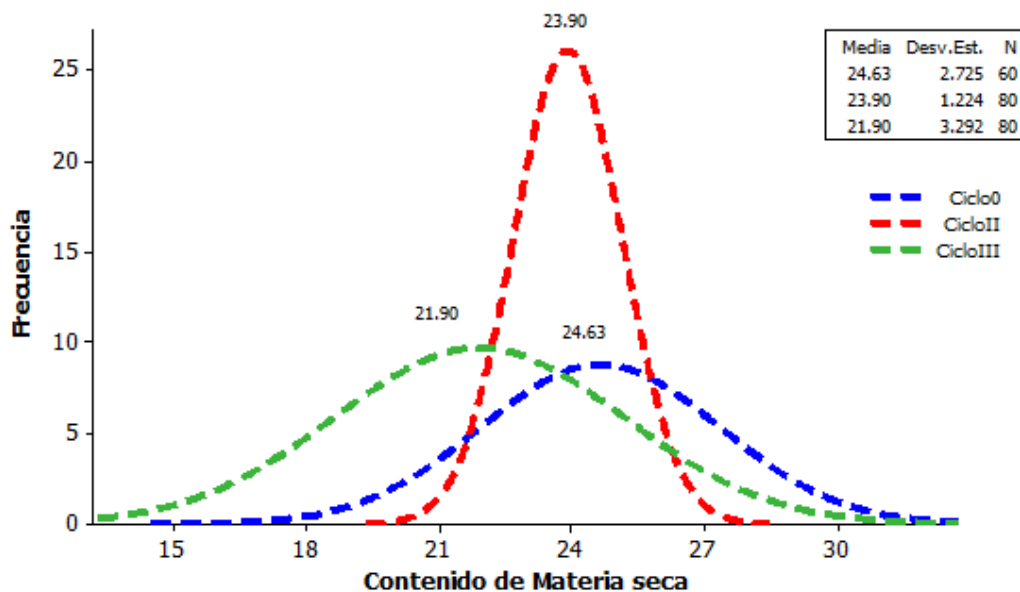


Figura 17. Consecuencias genéticas para el contenido de materia seca en el proceso de selección (ciclo III < ciclo II < ciclo 0).

4.3.2 Consecuencias genéticas para el número de tubérculos por planta

Se observó que las variables relacionadas a rendimiento como el número de tubérculos por planta con medias de 8.8 en el ciclo 0, 10.7 en el ciclo II y 16.2 para el ciclo III (**Figura 18**) (Con un incremento de 20 % en el ciclo II respecto al ciclo 0 y 43.14 % en el ciclo III respecto al ciclo II, consecuentemente un incremento de 76.47% en el ciclo III con respecto a la población base (**Cuadro 27**).

Cuadro 27. Parámetros genéticos para el número de tubérculos por planta

Ciclos	ds	h ²	(ds.h ²)	X ₀	GG
Ciclo III-0	7.37	0.92	6.77	8.85	76.47
Ciclo III-II	5.18	0.92	4.76	11.03	43.14
Ciclo II- 0	2.19	0.81	1.77	8.85	20.00

ds: es el diferencial de selección, h²: Heredabilidad en sentido amplio, X₀: Media del ciclo previo seleccionado

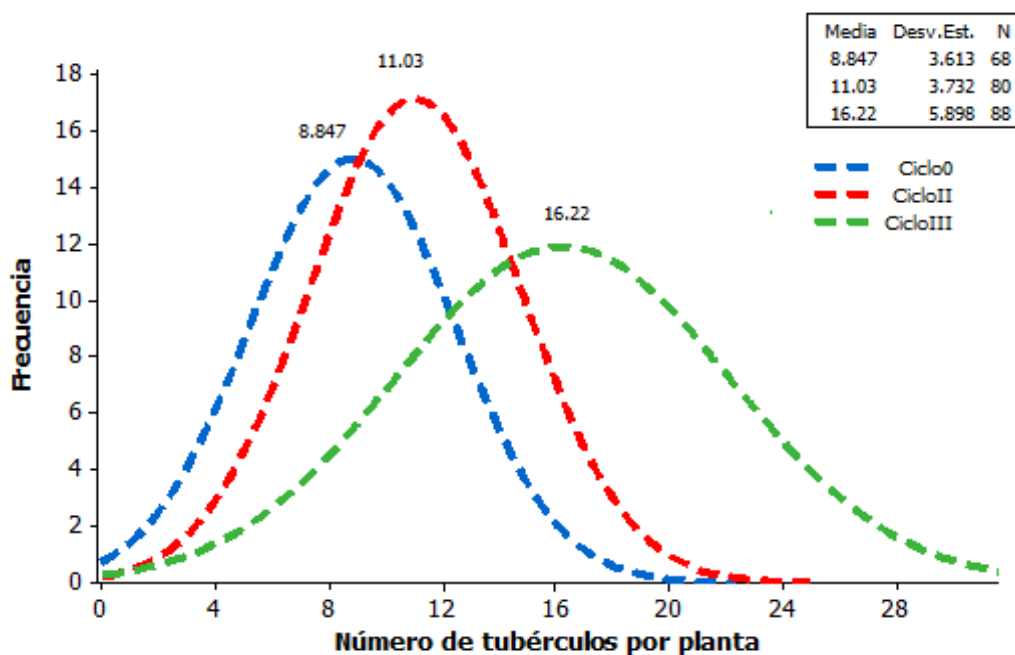


Figura 18. Consecuencias genéticas para el número de tubérculos por planta a través de los ciclos de selección (ciclo III < ciclo II < ciclo 0)

4.3.3 Consecuencias genéticas en el rendimiento de tubérculos ($t\ ha^{-1}$)

No hay variación significativa en el rendimiento de tubérculos a través de los ciclos de selección, se aprecia una ligera diferencia numérica entre las medias $18.17\ t\ ha^{-1}$ para ciclo 0, $19.15\ t\ ha^{-1}$ para el ciclo II y $19.61\ t\ ha^{-1}$ para el ciclo III (**Figura 19**), con un ligero incremento de 6.72 % en el ciclo III con respecto a la población base (**Cuadro 28**).

Cuadro 28. Parámetros genéticos en el rendimiento de tubérculos ($t\ ha^{-1}$)

Ciclos	ds	h^2	(ds. h^2)	X_0	GG
Ciclo III-0	1.44	0.85	1.22	18.17	6.72
Ciclo III-II	0.46	0.85	0.39	19.15	2.04
Ciclo II-0	0.98	0.76	0.75	18.17	4.10

ds: es el diferencial de selección, h^2 : Heredabilidad en sentido amplio, X_0 : Media del ciclo previo seleccionado

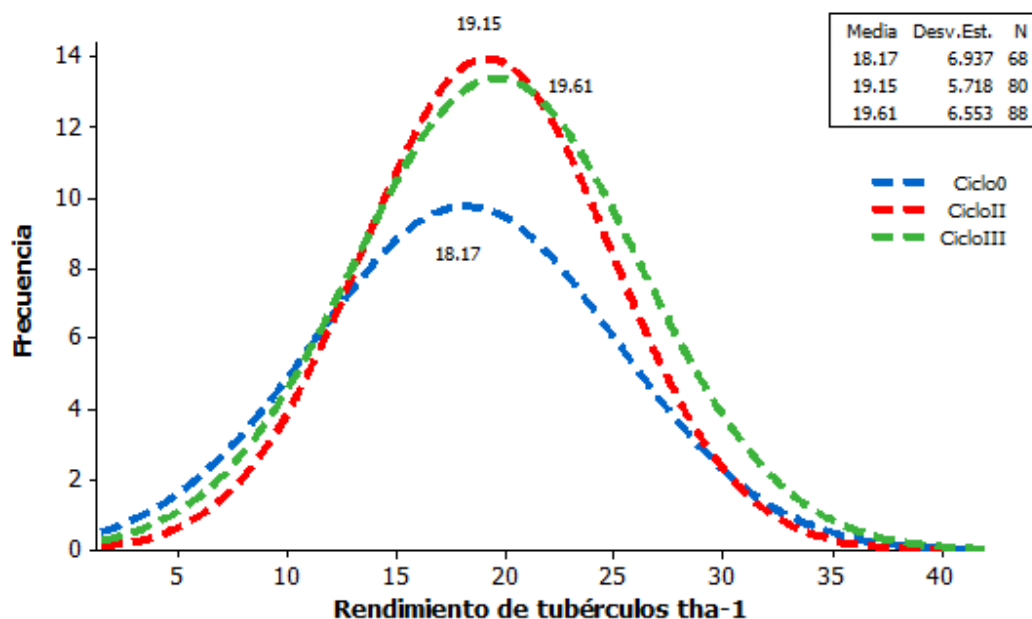


Figura 19. Consecuencias genéticas para rendimiento de tubérculos a través de los ciclos de selección

4.3.4 Consecuencias Genéticas en el peso promedio de tubérculos.

Existe una disminución en el peso promedio de tubérculos entre la población original y los ciclos siguientes, en el ciclo III el peso disminuyó hasta 40.30 g comparado con la población base de 73.64 g (**Cuadro 29**). Se apreció una disminución de 17.49 % en el ciclo II con respecto a la población base y 27.41 en el ciclo III respecto al ciclo II, lo que significa un 39.39 % de disminución de peso de tubérculos en el ciclo III respecto al ciclo 0 (**Figura 20**).

Cuadro 29. Parámetros genéticos para el peso promedio de tubérculos

Ciclos	ds	h ²	(ds.h ²)	X ₀	GG
Ciclo III-0	-33.34	0.87	-29.01	73.64	-39.39
Ciclo III-II	-18.54	0.87	-16.3	58.84	-27.41
Ciclo II- 0	-14.80	0.87	-12.88	73.64	-17.49

ds: es el diferencial de selección, h²: Heredabilidad en sentido amplio, X₀: Media del ciclo previo seleccionado

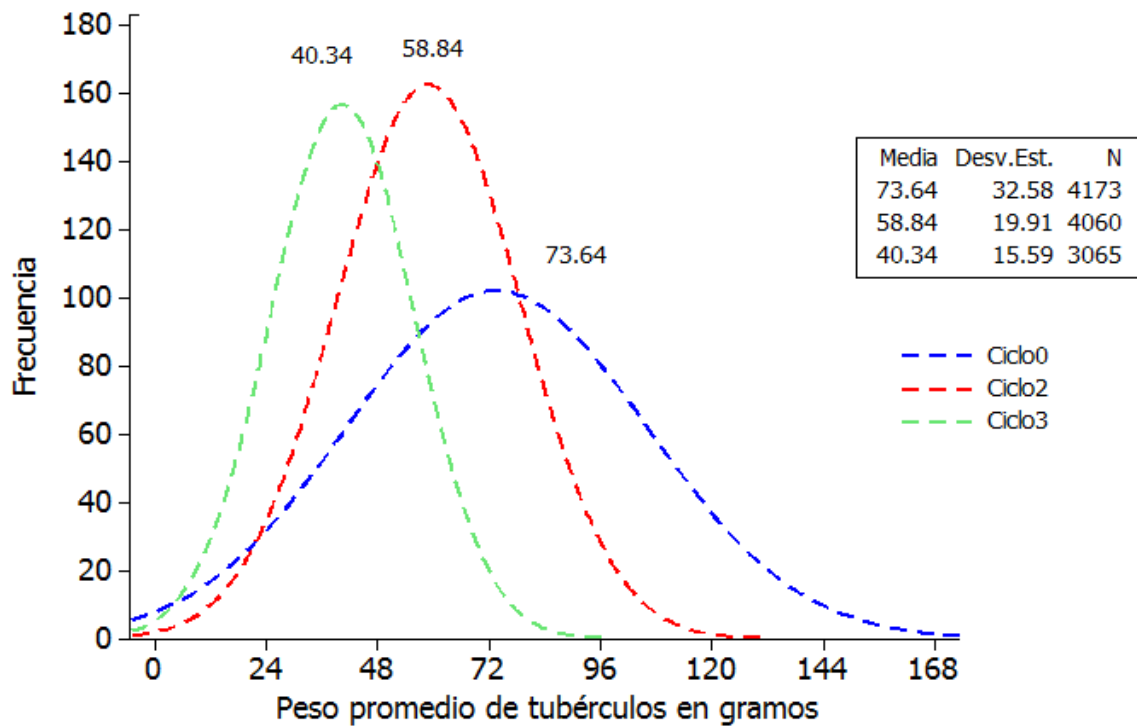


Figura 20. Progreso genético del peso promedio de tubérculos (g) a través de los ciclos de selección (ciclo III > ciclo II > ciclo0).

4.4 HEREDABILIDAD EN SENTIDO AMPLIO

La importancia de la heredabilidad se debe a que constituye uno de los factores de la respuesta a la selección, permite predecir los valores de las características a mejorar a partir de los valores fenotípicos. La heredabilidad es menor si el componente de variancia ambiental es mayor y depende de los modelos utilizados para la estimación (Piedrafita, 1998).

4.4.1 Heredabilidad para las concentraciones de hierro y zinc.

Las heredabilidades para el contenido de hierro en los ciclos de selección y la población original fueron muy similares y fluctuaron en un rango de 0.93 a 0.95 (**Cuadro 30**).

Cuadro 30. Componentes genéticos y heredabilidad para las concentraciones de hierro y zinc

Micronutrientes	Componentes de variancia	Ciclo0	Ciclo2	Ciclo3
Hierro	σ^2_e	13.26	12.92	12.98
	σ^2_g	0.71	0.69	0.92
	σ^2_p	13.97	13.62	13.90
	H ²	0.95	0.95	0.93
	sd H ²	0.08	0.07	0.08
Zinc	σ^2_e	9.85	8.31	8.81
	σ^2_g	1.58	1.07	2.13
	σ^2_p	11.43	9.38	10.94
	H ²	0.86	0.89	0.81
	sd H ²	0.08	0.07	0.06

H²=heredabilidad, σ^2_e =variancia del ambiente, σ^2_g =variancia genética, σ^2_p =variancia fenotípica, sd H² = desviación estándar de la heredabilidad.

Para la concentración de zinc, las heredabilidades también son altas y fluctuaron en un rango de 0.81 a 0.89 en los ciclos, mostrando una ligera disminución en el ciclo III (H²=0.81). Las altas heredabilidades mostradas para Fe y Zn se deben probablemente a que solo se realizó la evaluación en un solo ambiente.

Paget *et al.*, 2014 reportaron heredabilidades en sentido restringido en papas diploides para hierro y zinc de 0.57, 0.55 respectivamente, estos estudios fueron realizados en Huanuco y Ayacucho (Perú), Brown *et al.*, 2010, 2011 reportaron heredabilidades en sentido amplio en papas tetraploides (0.70, 0.61 respectivamente), pero también indican que en dos de sus ensayos fueron pequeñas y de igual manera Rivadeneira *et al.*, 2014, (0.96 y 0.69) hierro y zinc respectivamente, estos valores altos encontrados asegura una mejor respuesta a la selección de este carácter de calidad.

Salas *et al.*, 2012 reportaron valores bajos en las heredabilidades en sentido amplio para hierro y zinc (0.36, 0.18) debido a que las concentraciones de hierro y zinc de los genotipos de estudio fueron altamente inestables con respecto a los ambientes, así como la fuerte interacción genotipo por ambiente (G x A) que mostraron.

4.4.2 Heredabilidad en sentido amplio para el contenido de Materia Seca.

Las heredabilidades en sentido amplio para el porcentaje de materia seca encontrados en la población base (ciclo 0) y los ciclos II y III fluctuaron en un rango de 0.87 a 0.96 (**Cuadro 31**).

Cuadro 31. Heredabilidad en el contenido de materia seca en los ciclos 0, II y III

Materia Seca	Ciclo0	Ciclo2	Ciclo3
σ^2_e	5.76	0.95	9.51
σ^2_g	0.47	0.14	0.36
σ^2_p	6.23	1.09	9.87
H^2	0.92	0.87	0.96
sd H^2	0.33	0.07	0.07

H^2 =heredabilidad, σ^2_e =variancia del ambiente, σ^2_g =variancia genética, σ^2_p =variancia fenotípica, sd H^2 = desviación estándar de la heredabilidad.

Se puede observar que la heredabilidad para el porcentaje de materia seca es alta y generalmente se mantiene estable entre los resultados mostrados por diversos autores, Rodrigues y Pereira, 2003 (0.72), Hernández, 1989 (0.76), Amoros *et al.*, 1993 (0.75, 0.76, 0.83). Sin embargo, Salamoni *et al.*, 2000 reportaron heredabilidades muy bajas 0.38 para materia seca.

4.4.3 Heredabilidad en sentido amplio para el número de tubérculos por planta

La heredabilidad para el número de tubérculos por planta fue muy similar en el ciclo 0 y ciclo II (0.83, 0.81 respectivamente); sin embargo, se incrementa hasta 0.92 en el ciclo III (**Cuadro 32**). Se puede afirmar que es una característica con una heredabilidad aparentemente alta.

Cuadro 32. Heredabilidad en el número de tubérculos por planta en los ciclos de selección 0, II y III

Número de tubérculos planta	Ciclo0	Ciclo2	Ciclo3
σ^2_e	7.56	6.39	26.05
σ^2_g	1.51	1.50	2.30
σ^2_p	9.07	7.89	28.35
H^2	0.83	0.81	0.92
sd H^2	0.07	0.06	0.07

H^2 =heredabilidad, σ^2_e =variancia del ambiente, σ^2_g =variancia genética, σ^2_p =variancia fenotípica, sd H^2 = desviación estándar de la heredabilidad.

Valores de heredabilidad para esta característica fueron reportados por Thompson *et al.*, 1983 (0.58), Thompson y Mendoza, 1984 (0.64), Zuñiga, 1989 (0.62) y Zúñiga *et al.*, 2000 (0.48).

Sin embargo, las heredabilidades que obtuvimos son similares a las encontradas por Rodrigues y Pereira, 2003 (0.87), Cabello *et al.*, 2014 reporta que bajo condiciones de riego la heredabilidad es de 0.44 pero en condiciones de sequía se incrementa a 0.83, pero son superiores a las reportadas por Salas, 2007 (0.38). El número de tubérculos fue reportado por Jefferies y MacKerrom, 1987 como un factor importante para calcular el rendimiento de tubérculos.

4.4.4 Heredabilidad en sentido amplio para rendimiento

La heredabilidad en sentido amplio para el rendimiento fluctúa en un rango de 0.63 a 0.85 (**Cuadro 33**). Similares resultados de la heredabilidad encontrada en el ciclo 0 son reportadas por otros autores, Cabello *et al.*, 2014 encontró heredabilidades bajo condiciones de riego con material de papas del grupo andígenas de 0.68 y 0.41, Thompson & Mendoza, 1984 (0.61). Pero en el ciclo II y III las heredabilidades son más altas.

Algunos autores reportan heredabilidades muy bajas que varían de 0.14 a 0.31 (Huanco, 1990, Marca, 1991 citado por Mendoza, 2008; Anguiz, 1993). Mendoza, 1983 reporta valores que fluctúan de 0.27 a 0.31 cuando realizó cosechas a los 60 y 90 días para la característica de rendimiento, Zuñiga, 1989 (0.48).

Cuadro 33. Heredabilidad en sentido amplio para el rendimiento en la población ciclo 0, ciclo II y ciclo III

Rendimiento de tubérculos tha^{-1}	Ciclo0	Ciclo II	Ciclo III
σ^2_e	14.57	12.84	23.99
σ^2_g	8.52	4.04	4.36
σ^2_p	23.09	16.88	28.34
H^2	0.63	0.76	0.85
sd H^2	0.05	0.06	0.06

H^2 =heredabilidad, σ^2_e =variancia del ambiente, σ^2_g =variancia genética, σ^2_p =variancia fenotípica, sd H^2 = desviación estándar de la heredabilidad.

4.4.5 Heredabilidad en sentido amplio para el peso promedio de tubérculos.

La heredabilidad del peso promedio de tubérculos es constante en los tres ciclos (0.87) (**Cuadro 34**). Se puede observar que presenta una heredabilidad alta, similares resultados presentaron Thompson *et al.*, 1983 (0.79), Sattar *et al.*, 2007 (0.74), Rodrigues y Pereira, 2003 (0.79) y Mendoza 1984 (0.58 a 0.70).

Sin embargo, otros autores reportan heredabilidades moderadas, Thompson y Mendoza, 1984 (0.61), Cabello *et al.*, 2014 en condiciones de riego y de sequía (0.67), Salas, 2007 (0.51) y Zuñiga, 1989 (0.52).

Thompson *et al.*, (1983) indicaron que el uso del peso promedio de tubérculos es un criterio de selección indirecta para rendimiento de tubérculos; sin embargo, Cabello *et al.*, 2014 indican que el peso promedio de tubérculos y el número de tubérculos por planta no son buenos indicadores para una selección de tubérculos de buen rendimiento.

Cuadro 34. Heredabilidad en sentido amplio para el peso promedio de tubérculos en papas diploides en los ciclos 0, II y III

Peso promedio de tubérculos (g)	Ciclo0	Ciclo II	Ciclo III
σ^2_e	0.003	0.003	0.02
σ^2_g	0.01	0.01	0.01
σ^2_p	0.023	0.022	0.018
H^2	0.87	0.87	0.87
sd H^2	0.07	0.07	0.06

H^2 =heredabilidad, σ^2_e =variancia del ambiente, σ^2_g =variancia genética, σ^2_p =variancia fenotípica, sd H^2 = desviación estándar de la heredabilidad.

4.5 CORRELACIONES DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

La correlación entre las variables cuantitativas en estudio se muestra en el **Cuadro 35**, las principales correlaciones se observó entre los micronutrientes, los coeficientes de correlación entre hierro y zinc fueron positivas y altamente significativa ($P < 0.001$) en los ciclos 0 y II con valores $r = 0.68$, sin embargo en el ciclo, III la correlación mostró un valor relativamente menor con $r = 0.41$ debido posiblemente a que al mejorar solo una característica en este caso hierro, no estamos seleccionando los genotipos con los más altos contenidos de zinc, por ese motivo en los siguientes ciclos de mejoramiento se debe considerar ampliar la variabilidad genética para zinc.

Cuadro 35. Tabla de correlaciones para las variables en estudio a partir del coeficiente de Pearson.

Variables	Ciclos	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	% de Materia seca	Número tubérculos planta	Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)
Zinc (mg kg ⁻¹)	Ciclo 0	0.68 ***				
	Ciclo II	0.68 ***				
	Ciclo III	0.41 ***				
% Materia seca	Ciclo 0	-0.01	-0.25			
	Ciclo II	-0.02	-0.11			
	Ciclo III	-0.19	-0.28 **			
Número de tubérculos por Planta	Ciclo 0	-0.30 ***	0.076	0.005		
	Ciclo II	0.13	0.01	0.20		
	Ciclo III	-0.09	0.19	-0.05		
Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	Ciclo 0	-0.16	0.02	-0.14	0.48 ***	
	Ciclo II	-0.13	-0.15	-0.02	0.15	
	Ciclo III	-0.51	-0.26	0.03	0.46***	
Peso promedio de tubérculos (g)	Ciclo 0	0.25	0.14	-0.24	-0.36 ***	0.34 ***
	Ciclo II	-0.31	-0.15 ***	-0.15	-0.64 ***	0.35***
	Ciclo III	-0.24 **	-0.33 ***	-0.06	-0.33 ***	0.35***

** significativo a $P < 0.01$; *** altamente significativo a $P < 0.001$

Varios autores reportan similares correlaciones positivas entre Fe y Zn Burgos *et al.*, (2007) ($r = 0.52$ y $r = 0.54$ en dos localidades). Paget *et al.*, 2014 ($r = 0.80$), Managa, (2015) ($r = 0.45$), lo que indica que la evaluación y selección de uno de los micronutrientes resultará en un aumento complementario en el otro.

Pero Brown *et al.*, (2011) reporta una serie de resultados donde no hay una correlación consistente en el contenido de hierro y zinc, debido a que varía entre sus ensayos.

Se reporta variación genética y correlaciones positivas entre Fe y Zn a través de diferentes genotipos en un rango de 0.44 a 0.61 para cultivos como la papa, maíz (*Zea mays L.*), lenteja (*Lens culinaris Medik.*), el trigo y el ñame (*Dioscorea spp.*). Paget *et al.*, 2014; Gregorio, 2002; Boukar *et al.*, 2011 también encontraron una correlación positiva entre hierro y zinc en estudios de caupi.

La presencia de una correlación entre Zn, Fe y proteínas dentro del tejido del grano de trigo y la co-localización de un loci en el mismo cromosoma indican un vínculo estrecho

entre mecanismos fisiológicos y moleculares que contribuyen a la acumulación de Fe y Zn en trigo. Hay un incremento simultáneo de la concentración de Fe, Zn y proteínas (Cakmak *et al.*, 2010).

Otros autores también afirman esta relación entre el contenido hierro y zinc, tienen una relación genética, Jin *et al.*, 2013 encontraron dos regiones candidatas dentro de los cromosomas asociados con QTLs para hierro y zinc en los granos de maíz. Tiwari *et al.*, 2016 reporta para trigo que se identificaron tres QTL; dos para Zn (1B y 2B) con un QTL (2B) co-localizado para Fe y la tercera (1A) para la proteína.

Mihovilovich *et al.*, 2014 reportaron que hay una co-localización significativa de QTL para hierro y zinc en el Cromosoma II y IX que podría explicar que el 40% de asociación de esos caracteres ($r=0.63$).

Se observó una correlación negativa pero no significativa entre el contenido de micronutrientes con materia seca con valores que varían entre -0.01 a -0.19 para el contenido de hierro y con referente al contenido de zinc los valores fluctúan entre -0.25 a -0.28; sin embargo, en el ciclo III esta correlación es significativa, pero aún el valor es relativamente bajo.

Paget *et al.*, (2014) reportaron correlación genética negativa entre los minerales y el contenido de materia seca, la cual es perjudicial para los mejoradores, debido a que la materia seca está asociada a las características sensoriales útiles para la industria y el consumo. Salunke *et al.*, 1991 indica que a mayor cantidad de materia seca presenta mejores atributos para la industria de hojuelas de papa. Asimismo, las variedades que presentan menor porcentaje de materia seca contienen mayor contenido de agua y éstas no son requeridas para la industria (Hesen, 1990).

Estas correlaciones negativas también están de acuerdo con las observaciones reportadas por otros investigadores (Abebe *et al.*, 2012; Tekaligne y Hammes, 2005) y se pueden atribuir a un efecto de dilución causado por las altas tasas de crecimiento de las plantas, la cual excede la capacidad de la planta para adquirir estos elementos minerales (Abebe *et al.*, 2012; Jarrell y Beverly, 1981).

No se encontró una correlación significativa de rendimiento con los contenidos de hierro y zinc, lo que significa que se puede continuar con el proceso de selección para

micronutrientes sin que el rendimiento sea afectado como se aprecia en el progreso del rendimiento a través de los ciclos de selección (**Figura 19**), a pesar que se observa una correlación numérica negativa para rendimiento vs hierro y zinc. Varios autores han reportado que existe una correlación negativa de rendimiento con la concentración de hierro Rakhi *et al.*, 2014 ($r = -0.004$ en arroz), Głowacka *et al.*, 2015 ($r = -0.811$ en frijol), Nchimbi-Msolla y Muhamba (2010) ($r = -0.18$ en frijol) y para zinc Bekele *et al.*, (2013) ($r = -0.27$ en arroz).

White *et al.*, (2009) reportaron que el incremento de rendimientos en los tubérculos, mediante la elevación de las concentraciones de CO₂ o el cultivo de variedades de alto rendimiento, puede conducir a la reducción en las concentraciones de algunos elementos minerales en los tubérculos y el aumento de las concentraciones de minerales en los tubérculos podría explicarse por las aplicaciones apropiadas de minerales a través de los fertilizantes.

Se encontró una correlación positiva y altamente significativa para rendimiento y peso promedio de tubérculos en un rango de 0.34 a 0.35, caso contrario Silva *et al.*, 2008 reportaron correlaciones negativas pero significativas para dos poblaciones de papa en el peso promedio de tubérculos -0.34 y -0.48.

Se encontró correlación positiva entre el número de tubérculos por planta, con el rendimiento para la población base y el ciclo III (0.48, 0.46 respectivamente); sin embargo, no se mostró una correlación significativa en el ciclo II.

Thompson y Mendoza, (1984), reportaron correlaciones positivas entre el número de tubérculos y rendimiento (0.74), Silva *et al.*, 2008 reporta correlaciones de 0.44 y 0.45, Sattar *et al.*, 2007 reportaron correlaciones positivas y significativa entre diferentes caracteres, el peso de tubérculos, el número de tubérculos por planta y el contenido de materia seca con rendimiento, sugiriendo que el rendimiento puede ser incrementado por selección de esos caracteres. Sin embargo, Cabello *et al.*, 2014 indicaron que esos caracteres no son buenos indicadores indirectos de selección a pesar que exista correlación positiva debido a la baja heredabilidad que presentaron en sus experimentos. Haynes, (2001) indica que hay una baja correlación, pero significativa entre gravedad específica y rendimiento en 1990 (0.32), 1996 (0.37), pero en otros años no hubo correlación significativa, en el 1991 (0.08) y 1995 (0.05).

Los coeficientes de correlación entre la materia seca y las características agronómicas fueron bajos y no significativos, lo cual indicaría que hay una reducida asociación genética entre estas características, por lo tanto, la selección de clones por el alto contenido de materia seca afectaría muy poco en el rendimiento de tubérculos de la población de clones seleccionados, similares resultados fueron reportados por Salomoni *et al.*, 2000.

4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABILIDAD GENOTÍPICA

4.6.1 Variabilidad de genotipos de la población base (Ciclo 0)

Se encontró diferencias altamente significativas entre los cultivares del ciclo 0 para los contenidos de hierro, zinc, materia seca, número de tubérculos por planta, rendimiento y peso promedio de tubérculos. No se encontró diferencia significativa entre los bloques, excepto para número de tubérculos por planta. Los coeficientes de variación (CV) fueron bajas para mediciones de laboratorio en un rango de 6.9 a 14.2 % y para mediciones de campo fluctuaron en un rango de 28 a 32 %, lo que indica el buen manejo y la ausencia de factores externos que afecten al ensayo. Los datos de este ensayo se ajustan al modelo con un R ajustado que varía de 0.49 a 0.86 (Cuadro 36).

Cuadro 36. Análisis de variancia para genotipos del ciclo 0

Fuentes de Variabilidad	gl	Hierro (mg kg ⁻¹)		Zinc (mg kg ⁻¹)		Materia seca (%)		gl	Nro. Tubérculos planta		Rendimiento tubérculos (tha ⁻¹)		Peso promedio de tubérculos (g)	
		CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F		CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F
Bloques	3	1.55		24.4		3.18		3	1.42		36.66		0.01	
Genotipos	14	55.88	***	45.71	***	24.9	***	16	36.26	***	92.38	***	0.09	***
Error	42	2.84		6.31		1.9		48	6.01		34.09		0.01	
Total	59							67						
CV		6.93		14.16		5.6			27.75		32.14		5.9	
Promedio		24.32		17.73		24.6			8.85		18.16		1.75 (61.80)	
r ²		0.86		0.72		0.81			0.67		0.49		0.74	

*** Altamente significativo a P < 0.001

Data transformada para la variable peso promedio de tuberculos por log10

El rango para el contenido de hierro en este grupo fluctuó de 19.9 a 31.6 mg kg⁻¹ con una media de 24.3 mg kg⁻¹, para el contenido de zinc fluctuaron entre 12.1 a 22.9 mg kg⁻¹ con una media de 17.7 mg kg⁻¹, para el contenido de materia seca fluctuó en un rango de 20.8

a 30.3 % con una media de 24.6, el rendimiento oscilo entre 9 a 24.9 t ha⁻¹ con una media de 18.2, en el peso promedio de tubérculos varió de 37 a 132 g con una media de 61.80 g y el número de tubérculos por planta fue de 3.6 a 12 con una media de 8.85 (**Cuadro 37**).

Cuadro 37. Pruebas de comparación de medias para genotipos del ciclo 0 según la prueba de Tukey

Número de Variedad	Nombre de variedad	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	Materia seca (%)	Número tubérculos planta	Rendimiento tubérculos (tha ⁻¹)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP703312	Morada Turuna	31.6 ±0.47 ^a	22.9 ±2.5 ^a	23.0 ±2.0 ^{cdef}	10.8 ±1.3 ^{abc}	18.1 ±5.9 ^{abc}	46.29 ±19.7 ^{cd}
CIP702815	Morar Nayra Mari	30.1 ±1.47 ^a	20.7 ±2.6 ^{ab}	24.8 ±1.3 ^{bcd}	4.5 ±2.5 ^{cde}	14.6 ±8.8 ^{abc}	88.63 ±11.8 ^b
CIP703287	Q'eqorani	28.4 ±2.5 ^{ab}	19.3 ±3.2 ^{abc}	30.3 ±1.5 ^a	9.9 ±0.8 ^{abcd}	14.7 ±1.7 ^{abc}	40.25 ±4.7 ^d
CIP700313	Cuchipa Ismaynin	26.6 ±1.8 ^{abc}	18.5 ±1.7 ^{abcd}	26.1 ±0.9 ^{bc}	10.2 ±1.3 ^{abc}	21.1 ±3.9 ^{abc}	55.7 ±4.48 ^{bcd}
CIP703280	Puka Chaucha	25.6 ±0.9 ^{abcd}	20.0 ±0.9 ^{ab}	20.6 ±1.3 ^f	8.8 ±0.7 ^{abcde}	20.1 ±3.2 ^{abc}	62.7 ±11.8 ^{bcd}
CIP703317	Chingos	25.5 ±1.6 ^{abcde}	19.5 ±2.2 ^{abc}	24.2 ±1.6 ^{bcdde}	6.8 ±2.3 ^{abcde}	16.2 ±7.3 ^{abc}	63.0 ±11.0 ^{bcd}
CIP703291	Rosca	25.0 ±1.7 ^{abcdef}	22.2 ±4.6 ^a	20.8 ±2.0 ^{ef}	9.6 ±1.9 ^{abcde}	20.5 ±4.5 ^{abc}	59.1 ±17.3 ^{bcd}
CIP703825	China Runtush	24.7 ±1.9 ^{abcdef}	14.8 ±2.5 ^{bcd}	25.5 ±1.8 ^{bc}	3.6 ±1.1 ^e	10.2 ±3.9 ^{bc}	81.6 ±32.0 ^{bc}
CIP701165	Calhua Rosada	23.6 ±2.1 ^{bcddef}	19.4 ±4.0 ^{abc}	24.5 ±1.6 ^{bcd}	8.6 ±2.1 ^{abcde}	24.9 ±8.5 ^{ab}	76.4 ±9.9 ^{bcd}
CIP702736	Puka Mikush	21.8 ±2.3 ^{cdef}	17.3 ±2.1 ^{abcd}	24.0 ±1.4 ^{bcd}	11.3 ±3.1 ^{ab}	17.0 ±5.1 ^{abc}	41.1 ±6.2 ^d
CIP703831	Pampina	20.7 ±0.6 ^{cdef}	16.7 ±4.3 ^{abcd}	26.0 ±0.8 ^{bc}	12.3 ±3.3 ^a	23.5 ±11.9 ^{abc}	50.2 ±19.5 ^{bcd}
CIP703168	Puca Pishgush	20.6 ±1.5 ^{def}	13.1 ±2.8 ^{cd}	24.6 ±0.9 ^{bcd}	9.8 ±3.5 ^{abcde}	24.3 ±5.8 ^{ab}	69.5 ±13.75 ^{bcd}
CIP704393	María Cruz	20.6 ±1.1 ^{def}	12.5 ±1.1 ^d	27.7 ±1.1 ^{ab}	11.0 ±4.6 ^{ab}	15.6 ±5.9 ^{abc}	40.5 ±10.1 ^d
CIP704481	Amarilla	20.2 ±1.8 ^{ef}	12.1 ±0.1 ^d	21.9 ±0.7 ^{def}	11.9 ±2.4 ^a	17.0 ±2.6 ^{abc}	40.3 ±12.9 ^d
CIP704218	Yema de Huevo	19.9 ±1.7 ^f	17.2 ±2.6 ^{abcd}	24.8 ±1.1 ^{bcd}	12.5 ±3.5 ^a	16.6 ±3.6 ^{abc}	36.8 ±6.2 ^d
CIP703197	Yana Shucru				5.3 ±0.7 ^{bcdde}	25.3 ±3.4 ^a	132.4 ±28.9 ^a
CIP703421	Poluya				3.6 ±0.9 ^{de}	9.0 ±3.2 ^c	65.9 ±11.5 ^{bcd}

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre los genotipos para cada variable mediante la prueba de Tukey.

Se observó que los cultivares CIP703312, CIP703287, CIP702815, CIP700313, CIP703280 (**Figura 21**) mostraron los más altos contenidos de Fe y Zn, los valores fluctuaron entre 25.6 a 31.6 mg kg⁻¹ para hierro y entre 18 a 22 mg kg⁻¹ para zinc, sin embargo, los rendimientos de estos no fueron los más altos (14 a 21 t ha⁻¹) con un porcentaje de materia seca entre 20 a 30 % (**Cuadro 37**). El cultivar CIP703312 (Morada Turuna) mostró el más alto contenido de hierro y zinc con 31.6 mg kg⁻¹ y 22.9 mg kg⁻¹ respectivamente manteniendo relativamente alto el contenido de materia seca (23 %) y un rendimiento aceptable de 18 t ha⁻¹.



Figura 21. Fotos de la población 0 después de la cosecha

4.6.2 Variabilidad de los genotipos del ciclo II

Se encontró diferencias altamente significativas entre los genotipos del ciclo II para los contenidos de hierro, zinc, materia seca, número de tubérculos por planta, rendimiento de tubérculos y peso promedio de tubérculos. No se encontró diferencia significativa entre los bloques, excepto para número de tubérculos por planta. Los coeficientes de variación fueron bajos para mediciones de laboratorio en un rango de 3.1 a 10.4 % y para mediciones de campo fluctuaron en un rango de 20.9 a 22.0 %, lo que indica el buen manejo y la ausencia de factores externos que afecten al ensayo. Los datos se ajustan al modelo con un R ajustado que varía de 0.64 a 0.9 (**Cuadro 38**).

Cuadro 38. Análisis de variancia para genotipos del ciclo II

Fuentes de Variabilidad	gl	Hierro (mg kg ⁻¹)		Zinc (mg kg ⁻¹)		Materia seca (%)		Nro. Tubérculos planta		Rendimiento tubérculos (tha ⁻¹)		Peso promedio de tubérculos (g)	
		CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F
Bloques	3	2.1		1.19		1.2		52.5	**	126.2		0.03	
Genotipos	19	54.4	***	37.51	***	4.4	***	31.5	***	67.5	***	0.09	***
Error	57	2.8		4.28		0.56		5.9		16.4		0.01	
Total	79												
% CV		5.9		10.4		3.14		22.0		20.9		6.5	
Promedio		28.2		19.9		23.9		11.0		19.1		1.7 (51.2)	
R2		0.9		0.74		0.73		0.69		0.64		0.72	

** Significativo a P < 0.01; *** altamente significativo a P < 0.001,

Data transformada para la variable peso promedio de tuberculos por log10

Cuadro 39. Pruebas de comparación de medias para genotipos del ciclo II según la prueba de Tukey.

Genotipos	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	Porcentaje Materia seca	Número tubérculo planta	Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP306418.69	35.6 ±2.3 ^a	23.8 ±1.8 ^{abc}	24.0 ±1.0 ^{bcdef}	8.7 ±2.5 ^{cde}	20.2 ±5.5 ^{ab}	64.2 ± 10.6 ^{abc}
CIP306416.68	33.1 ±2.1 ^{ab}	21.3 ±1.2 ^{bcd}	22.6 ±0.5 ^{ef}	8.4 ±2.9 ^{cde}	15.7 ±4.5 ^b	54.4 ± 17.3 ^{abcd}
CIP306417.79	33.1 ±1.3 ^{ab}	27.0 ±0.8 ^a	26.3 ±1 ^a	17.5 ±1.1 ^a	18.1 ±3.5 ^{ab}	28.1 ± 6.3 ^d
CIP306087.132	33.0 ±2.2 ^{ab}	21.2 ±1.4 ^{bcd}	22.3 ±0.8 ^f	10.5 ±0.7 ^{bcde}	12.5 ±1.3 ^b	32.0 ± 3.4 ^{cd}
CIP306140.140	31.4 ±0.6 ^{abcd}	19.2 ±2.1 ^{cde}	24.3 ±0.6 ^{bcde}	15.6 ±1.1 ^{ab}	17.5 ±3.6 ^b	30.6 ± 8.9 ^{cd}
CIP306418.1	29.8 ±3.0 ^{bdc}	21.7 ±2.9 ^{abcd}	23.3 ±0.9 ^{cdef}	11.6 ±2.8 ^{abcde}	28.3 ±5.5 ^a	67.9 ± 14.5 ^{ab}
CIP306140.78	29.7 ±2.2 ^{bcde}	21.7 ±1.1 ^{abcd}	23.2 ±0.6 ^{cdef}	13.1 ±2.2 ^{abcd}	21.5 ±4.0 ^{ab}	44.9 ± 9.3 ^{abcd}
CIP306418.53	29.3 ±1.1 ^{bcdef}	19.6 ±1.9 ^{bcde}	24.8 ±0.8 ^{abcd}	8.4 ±1.3 ^{cde}	20.7 ±5.6 ^{ab}	69.5 ± 27.3 ^{ab}
CIP306514.64	28.8 ±1.3 ^{bcdefg}	24.9 ±2.3 ^{ab}	23.5 ±1.2 ^{cdef}	10.0 ±1.2 ^{bcde}	19.4 ±3.7 ^{ab}	52.8 ± 9.8 ^{abcd}
CIP306143.62	28.4 ±0.6 ^{cdefg}	18.8 ±1.5 ^{cde}	24.7 ±1.0 ^{abcd}	11.3 ±3.8 ^{abcde}	14.5 ±5.1 ^b	34.7 ± 7.9 ^{bcd}
CIP306143.65	27.7 ±0.7 ^{cdefgh}	20.0 ±1.6 ^{bcde}	22.8 ±0.9 ^{def}	7.6 ±2.1 ^{cde}	20.8 ±6.6 ^{ab}	74.0 ± 6.6 ^a
CIP306143.122	27.0 ±1.5 ^{defgh}	19.2 ±1.2 ^{cde}	24.2 ±0.7 ^{bcdef}	10.2 ±2.0 ^{bcde}	19.3 ±7.1 ^{ab}	50.2 ± 11.1 ^{abcd}
CIP306155.68	26.2 ±2.1 ^{defghi}	17.4 ±2.6 ^{de}	23.1 ±0.6 ^{def}	14.1 ±0.8 ^{abc}	16.4 ±5.2 ^b	31.3 ± 9.5 ^{cd}
CIP306155.73	25.5 ±1.4 ^{defghi}	16.9 ±3.0 ^{de}	24 ±0.6 ^{bcdef}	9.3 ±2.6 ^{bcde}	15.9 ±2.6 ^b	49.2 ± 17.4 ^{abcd}
CIP306154.126	25.4 ±1.6 ^{efghi}	17.8 ±2.2 ^{de}	23.3 ±0.8 ^{cdef}	15.3 ±7.3 ^{ab}	14.2 ±5.7 ^b	26.3 ± 7.3 ^d
CIP306087.56	25.4 ±1.8 ^{fghi}	21.9 ±3.8 ^{abcd}	25.8 ±0.8 ^{ab}	9.1 ±3.7 ^{bcde}	18.8 ±4.8 ^{ab}	61.4 ± 26.4 ^{abcd}
CIP306018.4	24.5 ±1.9 ^{ghi}	17.2 ±1.6 ^{de}	25.1 ±0.2 ^{abc}	10.6 ±4.5 ^{bcde}	23.0 ±2.5 ^{ab}	65.6 ± 24.1 ^{abc}
CIP306018.66	24.5 ±1.4 ^{ghi}	15.5 ±1.7 ^e	23.7 ±0.6 ^{cdef}	11.7 ±1.0 ^{abcde}	28.3 ±2.1 ^a	65.5 ± 3.4 ^{abc}
CIP306022.69	23.5 ±0.9 ^{hi}	18.7 ±1.6 ^{cde}	23.6 ±0.9 ^{cdef}	7.3 ±1.9 ^{de}	19.1 ±5.8 ^{ab}	70.7 ± 8.5 ^{abc}
CIP306087.72	21.9 ±0.6 ⁱ	15.2 ±1.6 ^e	23.4 ±0.9 ^{cdef}	10.7 ±3.1 ^{bcde}	18.8 ±3.2 ^{ab}	49.7 ± 13.1 ^{abcd}

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre los genotipos para cada variable mediante la prueba de Tukey.

El rango para contenido de hierro en este grupo fluctuó entre 21.9 a 35.6 mg kg⁻¹ con una media de 28.2 mg k⁻¹ y para el contenido de zinc fue entre 15.2 a 27.0 mg kg⁻¹ con una media de 20.0 mg kg⁻¹, para el contenido de materia seca fluctuó en un rango de 22.3 a 26.3 % con una media de 23.9, el rendimiento oscilo entre 12.5 a 28.3 tha⁻¹ con una media de 19.1, el peso promedio de tubérculos varió de 26.3 a 74.0 g con una media de 51.2 g y el número de tubérculos por planta fue de 7.3 a 17.5 con una media de 11.0 (**Cuadro 39**).



Figura 22. Fotos de la población II después de la cosecha

Se observa que los CIP306418.69, CIP306416.68, CIP306417.79, CIP306087.132 y CIP306140.140 (**Figura 22**), mostraron los más altos contenidos de hierro y zinc que fluctúan en un rango de 31.4 a 35.6 mg kg⁻¹ de hierro y de 19.2 a 27.0 mg kg⁻¹ para zinc, con rendimiento en un rango de 12 a 20 tha⁻¹, pero si mostraron alto contenido de materia seca (22 a 26 %).

El genotipo CIP306418.69 mostró el más alto contenido de hierro y zinc con 35 mg k⁻¹ y 23.8 mg kg⁻¹ respectivamente, manteniendo un alto contenido de materia seca (24%) y un rendimiento aceptable de 20 tha⁻¹ superando al promedio (18 tha⁻¹).

4.6.3 Variabilidad de los genotipos del ciclo III

Se encontró diferencias altamente significativas entre los genotipos del ciclo III para los contenidos de hierro, zinc materia seca, número de tubérculos por planta, rendimiento de tubérculos y peso promedio de tubérculos. No se encontró diferencia significativa entre los bloques, los coeficientes de variación fueron bajos para mediciones de laboratorio en un rango de 5.5 a 12.4 % y para mediciones de campo fluctuaron en un rango de 18.3 a 21 %, lo que indica el buen manejo y la ausencia de factores externos que afecten al ensayo. Los datos se ajustan al modelo con un r^2 ajustado que varía de 0.6 a 0.9 (**Cuadro 40**).

Cuadro 40 Análisis de variancia de los genotipos del ciclo III

Fuentes de Variabilidad	gl	Hierro (mg kg ⁻¹)		Zinc (mg kg ⁻¹)		Materia seca %		gl	Numero de tubérculos Planta		Rendimiento de tubérculos (tha ⁻¹)		Peso promedio de tubérculos (g)	
		CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F		CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F
Bloques	3	0.72		8.42		8.04		3	19.9		85.7		0.04	
Genotipos	19	55.6	***	43.8	***	39.5	***	21	113	***	113	***	0.07	***
Error	57	3.68		8.5		1.44		63	9.21		17.4		0.01	
Total	79							87						
CV		5.80		12.4		5.5			18.7		21.3		6.5	
Promedio		33.1		23.6		21.9			16.2		19.6		1.5(35.3)	
r^2		0.83		0.64		0.91			0.81		0.7		0.69	

** Significativo a $P < 0.01$; *** altamente significativo a $P < 0.001$

Data transformada para la variable ATW por log10

El rango para contenido de hierro en este grupo fluctuó de 27 a 39 mg kg⁻¹ con una media de 33 mg k⁻¹ y para contenido de zinc un rango de 17.7 a 29.0 mg kg⁻¹ con una media de 23.6 mg kg⁻¹, para el contenido de materia seca fluctuó en un rango de 15.18 a 26.3% con una media de 21.9 %, el rendimiento oscilo entre 9.4 a 28.0 tha⁻¹ con una media de 19.6 ligeramente mayor al encontrado en el ciclo 0 y II, el peso promedio de tubérculos varió de 16.15 a 66.3 g con una media de 35.3 g y el número de tubérculos por planta fue de 7.8 a 23.7 con una media de 16.2 superior comparada a los ciclos previos (**Cuadro 41**).

Cuadro 41. Pruebas de comparación de medias para genotipos del ciclo III según la prueba de Tukey

Genotipos	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	% de Materia seca	Número tubérculos por planta	Rendimiento de tubérculos (tha-1)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP311083.21	38.9 ±2.0 ^a	27.2 ±1.6 ^{abc}	19.9 ±0.4 ^{cde}	9.2 ±1.6 ^e	14.5 ±2.2 ^{bcd}	42.8 ±7.1 ^{bcd}
CIP311576.5	38.6 ±2.6 ^{ab}	20.0 ±0.6 ^{cde}	19.4 ±0.6 ^{de}	21.9 ±3.6 ^{ab}	18.6 ±8.3 ^{abcd}	23.5 ±10.7 ^{bce}
CIP311575.64	38.5 ±1.4 ^{ab}	29.0 ±3.2 ^a	18.8 ±0.8 ^e	23.1 ±2.6 ^{ab}	18.9 ±6.5 ^{abcd}	21.7 ±4.8 ^{de}
CIP311422.14	36.9 ±2.2 ^{abc}	27.9 ±2.9 ^{ab}	25.0 ±1.5 ^{ab}	18.4 ±1.8 ^{abcd}	19.0 ±4.6 ^{abcd}	27.6 ±4.8 ^{bcde}
CIP311575.103	36.8 ±1.5 ^{abc}	23.6 ±3.1 ^{abcde}	24.2 ±1.9 ^{ab}	12.2 ±2.0 ^{cde}	19.9 ±3.6 ^{abcd}	44.1 ±3.6 ^{abcd}
CIP311623.75	35.8 ±1.4 ^{abcd}	27.8 ±3.1 ^{ab}	25.2 ±0.5 ^{ab}	22.5 ±3.8 ^{ab}	13.3 ±2.0 ^{cd}	16.1 ±3.2 ^e
CIP311083.5	34.9 ±1.2 ^{abcde}	21.4 ±1.9 ^{abcde}	22.6 ±0.6 ^{bcd}	15.2 ±1.4 ^{bcde}	14.3 ±2.2 ^{bcd}	25.3 ±2.6 ^{cde}
CIP311209.16	34.5 ±2.2 ^{bcdef}	24.0 ±2.4 ^{abcde}	22.7 ±0.6 ^{bc}	13.2 ±1.3 ^{cde}	18.5 ±4.4 ^{abcd}	38.2 ±10.5 ^{bcde}
CIP311422.19	33.8 ±1.8 ^{bcdefg}	22.2 ±3.5 ^{abcde}	22.6 ±1.6 ^{bc}	12.3 ±0.8 ^{cde}	18.9 ±4.5 ^{abcd}	41.3 ±9.2 ^{bcd}
CIP311097.55	32.9 ±2.1 ^{cdefgh}	18.7 ±2.9 ^{de}	26.2 ±1.1 ^a	9.3 ±1.4 ^e	12.5 ±2.3 ^{cd}	36.2 ±1.4 ^{bcde}
CIP311166.10	32.8 ±1.7 ^{abcde}	20.7 ±2.1 ^{bcde}	16.9 ±0.7 ^{ef}	11.1 ±2.6 ^{de}	19.1 ±1.2 ^{abcd}	48.7 ±12.8 ^{ab}
CIP311339.114	32.5 ±1.5 ^{cdefgh}	26.5 ±2.7 ^{abc}	15.2 ±1.2 ^f	17.7 ±0.5 ^{abcd}	18.2 ±4.4 ^{abcd}	27.7 ±6.6 ^{bcde}
CIP311623.123	32.3 ±1.2 ^{cdefghi}	25.3 ±1.3 ^{abcde}	18.8 ±1.8 ^e	17.9 ±1.8 ^{abcd}	23.3 ±5.2 ^{abc}	35.1 ±7.9 ^{bcde}
CIP311422.33	31.0 ±2.3 ^{defghi}	25.5 ±2.6 ^{abcd}	18.1 ±1.3 ^{ef}	23.7 ±3.9 ^a	27.0 ±9.1 ^a	30.1 ±4.9 ^{bcde}
CIP311420.19	29.9 ±1.5 ^{efghi}	23.3 ±0.9 ^{abcde}	22.3 ±0.7 ^{bcd}	19.2 ±5.2 ^{abc}	24.4 ±2.9 ^{ab}	35.4 ±5.5 ^{bcde}
CIP311339.2	29.6 ±1.6 ^{efghi}	25.8 ±3.4 ^{abcd}	24.3 ±2.1 ^{ab}	18.5 ±6.0 ^{abcd}	24.8 ±2.3 ^{ab}	38.1 ±7.8 ^{bcde}
CIP311623.105	29.2 ±2.6 ^{ghi}	23.0 ±3.1 ^{abcde}	23.5 ±2.6 ^{ab}	23.1 ±3.8 ^{ab}	24.6 ±2.5 ^{ab}	29.2 ±5.2 ^{bcde}
CIP311420.74	27.8 ±1.6 ^{hi}	23.5 ±7.1 ^{abcde}	22.4 ±2.1 ^{bcd}	18.2 ±0.6 ^{abcd}	23.6 ±4.0 ^{abc}	35.1 ±6.3 ^{bcde}
CIP311622.35	27.7 ±2.9 ⁱ	17.7 ±2.6 ^e	26.2 ±1.0 ^a	21.7 ±7.3 ^{ab}	28.0 ±5.9 ^a	38.6 ±19.2 ^{bcde}
CIP311420.14	27.5 ±1.7 ⁱ	18.9 ±1.2 ^{de}	23.3 ±0.5 ^{ab}	11.6 ±1.9 ^{cde}	27.7 ±5.5 ^a	66.3 ±20.2 ^a
CIP311103.30				8.7 ±1.3 ^e	9.4 ±2.5 ^d	28.8 ±4.7 ^{bcde}
CIP311166.3				7.8 ±1.1 ^e	12.9 ±3.0 ^{cd}	45.6 ±14.1 ^{abc}

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre los genotipos para cada variable mediante la prueba de Tukey.



Figura 23. Fotos de la población III después de la cosecha

Se observó que los CIP311083.21, CIP311576.5, CIP311575.64, CIP311422.14, CIP311575.103, CIP311623.75, CIP311083.5 (**Figura 23**), mostraron los más altos contenidos de hierro y zinc que fluctuaron en un rango de 34.9 a 38.9 mg kg^{-1} de hierro y de 20 a 29.0 mg kg^{-1} para zinc, con un rendimiento en un rango de 13.3 a 19.9 t ha^{-1} y el contenido de materia seca en el rango de 18.8 a 25.2 %.

Managa, (2015) reportó que encontró genotipos con concentraciones entre 34.67 a 76.67 mg kg^{-1} para Fe y 12.88 a 66.1 mg kg^{-1} para Zn. Igualmente, Andre *et al.*, 2007 reportó altos contenidos de Fe en un rango 29.87 hasta 157.96 mg kg^{-1} de peso seco en muestras peladas de papas nativas andinas. Aparentemente esos valores son más elevados que los encontrados en este estudio que alcanzaron a un valor máximo de 39 mg kg^{-1} en peso seco. Estas concentraciones muy elevadas no propias en papa, hace suponer que han aplicado una metodología no adecuada, como el pelado incompleto, falta de cuidado en el lavado,

etc. que permite alta contaminación con partículas de suelo (Burgos *et al.* 2007; True *et al.*, 1978) y por consiguiente una aparente concentración elevada.

Subramanian *et al.*, (2011) reportaron que hay mayores concentraciones de minerales en la piel que en la pulpa de los tubérculos. La piel de la papa contenía aproximadamente 17% del zinc total de tubérculo, 34 % de Ca y 55% de hierro. Las concentraciones de zinc y hierro en la piel se deben al contacto directo por el suelo y la absorción por la peridermis. La distribución de los minerales es muy variable dentro del tubérculo de la papa, debido a distintos patrones de distribución en el tubérculo, siendo consistente con la descarga del floema en el tubérculo y su limitado posterior desplazamiento.

Bonierbale *et al.*, (2007) reportaron clones que varían en el contenido de hierro de 11 a 23 mg kg⁻¹ y de Zn 8 a 31 mg kg⁻¹, asimismo indica que las muestras peladas minimizan los cambios por contaminación por el suelo.

Paget *et al.*, (2014) reportaron contenidos de hierro en el primer ciclo de 9 a 37 y de zinc de 7 a 27 mg kg⁻¹ de peso seco, y en el segundo ciclo 7 a 42 para hierro y 3 a 39 en zinc en papas diploides.

Burgos *et al.*, (2007) reportaron un rango de hierro 9 a 37 mg kg⁻¹, y de zinc de 8 a 20 mg kg⁻¹ en papas nativas diploides.

Los contenidos de zinc en papas amarillas de *S. tuberosum* del grupo andigena llegaron a concentraciones de 4.6 mg kg⁻¹ en peso fresco (Dugo *et al.*, 2004).

Brown *et al.*, (2011), indicaron que con 100 g de porción de papa con concentración de zinc aprox. 18 mg kg⁻¹ proporcionaría a un adulto el 4% del requerimiento estimado promedio (EAR) Grupo Consultivo Internacional de Nutrición en Zinc (IZiNCG 2004).

Los nutricionistas estiman que el requerimiento de Fe en la dieta debe ser para mujeres 4 mg/día y en niños 2 mg/día y en zinc 3 mg en mujeres y 1.5 mg/día para niños (Bonierbale *et al.*, 2007) menores a los reportados por otros autores.

Los resultados nos indican que se ha logrado obtener exitosamente a través tres ciclos de selección recurrente incrementar los contenidos de hierro y zinc alcanzando valores de 38.9 y 27.9 mg kg⁻¹ en papas diploides, manteniendo un rendimiento de 18 t ha⁻¹, valor

superior al rendimiento promedio nacional reportado para Perú (14 t ha^{-1}) (Egúsqiza, 2014, FAOSTAT, 2016), la variabilidad y diversidad aun presente en estas poblaciones indican que se puede lograr mayores ganancias en la concentración de micronutrientes en los siguientes ciclos de selección, los genotipos de los ciclo II y III son considerados como variedades candidatas para ser probados con alternativas en programas de biofortificación.

V. CONCLUSIONES

1. Se encontró un incremento significativo en la ganancia genética para el contenido de hierro y zinc en cada ciclo de selección recurrente (Ciclo 0, Ciclo II y Ciclo III). Asimismo, se observó mayor ganancia genética en las concentraciones de hierro comparadas a las concentraciones de zinc.
2. Las heredabilidades en sentido amplio para hierro y zinc mostraron valores altos en cada ciclo de selección.
3. El rendimiento de tubérculos se mantuvo casi constante en todos los ciclos (Ciclo 0, Ciclo II y Ciclo III), con una ligera disminución en el contenido de materia seca.
4. Se observó una correlación positiva para las concentraciones de hierro y zinc en cada ciclo de selección (Ciclo 0, Ciclo II y Ciclo III), cuando se evaluó en base de peso seco, esto podría permitir realizar una selección simultánea para incrementar las concentraciones de ambos minerales.
5. En el ciclo recurrente III se encontró que los genotipos CIP311083.21 y CIP311575.64 mostraron los más altos valores de micronutrientes.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar una evaluación de los genotipos en estudio (Ciclo 0, Ciclo II y Ciclo III) en otros ambientes para determinar la interacción genotipo por ambiente y la ganancia genética de las concentraciones de hierro y zinc.
- Analizar el ciclo de selección IV para determinar si la pérdida del contenido de materia seca y el peso promedio de tubérculos es significativo.
- Incrementar la variabilidad genética en los siguientes ciclos de selección, con genotipos con mayores contenidos de materia seca y altos rendimientos.
- Introducir la ganancia genética obtenida a nivel diploide a papas tetraploides con características de resistencia a las principales enfermedades, mayores rendimientos y adaptabilidad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEBE T., WONGCHAOCHANT S., TAYCHASINPITAK T. & LEELAPON O. 2012. Variation of Mineral Concentrations among Different Potato Varieties Grown at Two Distinct Locations in Ethiopia. *Kasetsart Journal of Natural Science* 46: 837-850.

AGRONOTICIAS. 2012. Que debe tener en cuenta sobre la calidad de la Papa. <https://agronoticias2012.blogspot.pe/> Consultado en línea el 15 abril 2016.

ANGUIZ R. 1993. Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae. Habilidad combinatoria general (HCG) y específica (HCE) para resistencia a la marchitez bacteriana (*Pseudomonas solanacearum* E.F. Smith) en papas autotetraploides inmunes a los virus X e Y. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). 69 pp.

ANDRE C., GHISLAIN M., BERTIN P., QUFIR M., HERRERA M., HOFFMANN L., HAUSMAN J., LARONDELLE Y. & EVERS D. 2007. Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 55: 366-378.

AMES M. & SPOONER D. 2008. DNA from herbarium specimens settles a controversy about origins of the European potato. *Amer. J. Bot.* 95(2) 252-257.

AMOROS W., ATO M. & MENDOZA H. 1993. Breeding potatoes for processing quality in developing countries. European Association for Potato Research. EAPR abstracts. Paris (France). 30-31 pp.

BENITES F. & PINTO C. 2011. Genetic gains for heat tolerance in potato in three cycles of recurrent selection. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 11: 133–140.

BEKELE B., NAVEEN G., RAKHI S. & SHASHIDHAR H. 2013. Genetic evaluation of recombinant inbred lines of rice (*Oryza sativa* L.) for grain zinc concentrations, yield related traits and identification of associated SSR markers. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 16 (23) 1714 p.

BISOGNIN D., RIGÃO M., LOPES S. & STORCK L. 2012. Heritability and correlation among potato tuber traits. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 12: 215-219.

BLACK R. 2003. Zinc deficiency, infectious disease and mortality in the developing world. *J. Nutr.*

BONIERBALE M., AMOROS W., BURGOS G., SALAS E. & JUAREZ H. 2007. Prospects for enhancing the nutritional value of potato by plant breeding. *African Potato Association Conference Proceedings, Vol. 7*, pp. 26-46.

BOREM A., CONDORI M. & MIRANDA G. 2008. *Mejoramiento de plantas*. Minas Gerais (Brazil). Universidade Federal de Viçosa. 4ta ed. 438 p.

BOSCO DOS SANTOS, J. & LEITE M. 2014. Recurrent selection in common bean for resistance to white mold. *Anais do XVIII Simpósio Internacional de Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas*. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil, 70-72 p.

BOUKAR O., MASSAWE F., MURANAKA S., FRANCO J., MAZIYA-DIXON B., SINGH B. & FATOKUN C. 2011. Evaluation of cowpea germplasm lines for protein and mineral concentrations in grains. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 9: 515-522.

BOY E., MANNAR V., PANDAV C., BENOIST B., VITERI F., FONTAINE O. & HOTZ C. 2009. Achievement, challenges, and promising new approaches in vitamin and mineral deficiency control. *Nutrition Rev* 67: S24-S30.

BORBA N. 2008. La papa un alimento básico. Posibles impactos frente a la introducción de la papa transgénica. Uruguay. <http://webs.chasque.net/~rapaluy1/transgenicos/Papa/Papa.pdf> Consultado en línea el 23 de abril del 2016.

BRADSHAW J. 2005 Potato improvement at SCRI by multitrait genotypic recurrent selection. In *Simpósio de atualização em Genética e melhoramento de plantas. Seleção recorrente no melhoramento de plantas*. Universidade Federal de Lavras, Lavras. MG, Brasil. 9-28 p.

BROWN C., HAYNES K., MOORE M., PAVEK M., HANE D., LOVE S., NOVY R. & MILLER J. 2010. Stability and Broad-Sense Heritability of Mineral Content in Potato: Iron. *American Journal of Potato Research*. 87(4) 2010, 390-396.

BROWN C., HAYNES K., MOORE M., PAVEK M., HANE D., LOVE S., NOVY R. & MILLER J. 2011. Stability and Broad-sense Heritability of Mineral Content in Potato: Zinc. *American Journal of Potato Research*. 88: 238–244.

BURGOS G., AMORÓS W., MOROTE M., STANGOULIS J. & BONIERBALE M. 2007. Iron and zinc concentration of native Andean potato cultivars from a human nutrition perspective. *Journal of Science of Food and Agriculture* 87: 668–675.

BUSHWAY J., BUREAU L. & MCGANN F. 1984. Determinations of organic acids in potatoes by high performance liquid chromatography. *Journal of Food Science* 49: 75–81

CALERO C. & MOLINA A. 2010. Mapa de desnutrición crónica del Ecuador. Programa Mundial de Alimentos. Quito- Ecuador.

CABELLO R., MONNEVEUX P., BONIERBALE M. & KHAN A. 2014. Heritability of Yield Components Under Irrigated and Drought Conditions in *Andigenum* Potatoes. *American Journal of Potato Research*. 5: 492-499.

CAKMAK I., PFEIFFER W. & MCCLAFFERTY B. 2010. Biofortification of Durum Wheat with Zinc and Iron. *Cereal Chem*. 87(1):10–20.

CAMARENA F., HUARINGA A. & MOSTACERO N. 2009. Innovación Tecnológica para el Incremento de la Producción de Fríjol Común (*Phaseolus vulgaris* L). Primera Edición. UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), CONCYTEC (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica). 232 p.

CAMARENA F., HUARINGA A. & MOSTACERO N. 2010. Mejoramiento Genético de especies del genero *Phaseolus* mediante Metodologías convencionales e innovadoras con el fin de incrementar la producción y la oferta exportable del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Primera Edición. Universidad Nacional Agraria La Molina – Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. 298 pp.

CAMIRE M., KUBOW S. & DONNELLY D. 2009. Potatoes and Human Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 49:823-840.

CAPEZIO S., HUARTE M. & CARROZZI L. 1993. Selección por peso específico en generaciones tempranas en el mejoramiento de la papa. *Revista Latinoamericana de la papa*. 5(6): 54-63.

CHAUDHARY V., DHEDHI K., JOSHI H. & SORATHIYA J. 2012. Genetic variability for grain iron, zinc, protein, yield and yield attributes in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. *Madras Agricultural Journal* 2012. 99(7): 465-467.

CIP-BIOMART Centralized Database Version 0.9. 2015. International Potato Center (CIP). Lima-Perú.

DALE M. & MACKAY G 1994. Inheritance of table and processing quality. In: Bradshaw, J.E. and Mackay, G.R. eds. *Potato Genetics*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 285–315 pp.

DE HAAN S., FORBES A., AMOROS W., GASTELO M., SALAS E., HUALLA V., DE MENDIBURU F. & BONIERBALE M. 2014. Metodologías de Evaluación Estándar y Manejo de Datos de Clones Avanzados de Papa. Módulo 2: Evaluación del rendimiento de tubérculos sanos de clones avanzados de papa. Guía para Colaboradores Internacionales. Lima (Perú). Centro Internacional de la Papa. 44 p.

DUGO G., LA PERA L., LO TURCO V., GIUFFRIDA D. & RESTUCCIA S. 2004. Determination of copper, zinc, selenium lead and cadmium in potato (*Solanum tuberosum* L.) using potentiometric stripping methods. *Food Additives & Contaminants* 21: 649-657.

EKIN Z. 2011. Some analytical quality characteristics for evaluating the utilization and consumption of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *African Journal of Biotechnology* 10 (32): 6001-6010.

EGÚSQUIZA R. 2014. La papa en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2da Ed. Perú. 200 pp.

EGÚSQUIZA R. & CATALAN W. 2011. Guía técnica. Curso – Taller Manejo integrado de papa. UNALM-Agrobanco. Cuzco, Perú.

ENCOFA. 2006. Instituto Nacional de Salud. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Dirección Ejecutiva de Vigilancia Alimentaria Nutricional (DEVAN). Base de datos de la Encuesta Nacional de Consumo Familiar de Alimentos.

ESTRADA N. 2000. La Biodiversidad en el Mejoramiento Genético de la papa. Bill Hardy, Emma Martínez (Ed.) La Paz, Bolivia. 372 p.

ESPINOZA L., SLATON N. & MOZAFFARI M. 2013. Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. División de agricultura. Universidad de Arkansas. Estados Unidos. FSA2118. www.uaex.edu/publications/pdf/FSA-2118.pdf. Consultado en línea el 24 abril del 2016.

ESPLIN L. 2011. Early generation selection for cold chipping in potato genotypes developed by conventional tetraploid breeding and by interspecific and interploidy hybridizations. Tesis. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, <http://purl.umn.edu/116145>. Consultado en línea el 24 abril del 2016.

FAIRWEATHER-TAIT S. 1983. Studies on the availability of iron in potatoes (*Solanum tuberosum*). British Journal of Nutrition 50: 15–23

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization statistical. 2016. Statistical data base 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome. Italy. <http://www.faostat3.fao.org/home/index.html>. Consultado en línea el 30 abril del 2016.

FAO. 2008. Nueva Luz sobre un tesoro enterrado. Año Internacional de la papa. <http://www.fao.org/potato-2008/pdf/IYPbook-es.pdf>. Consultado en línea el 05 mayo del 2016.

FROSSARD E., BUCHER M., MÄCHLER F., MOZAFAR A. & HURRELL R. 2000. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. Journal of the Science of Food and Agriculture 80: 861-879.

GABRIEL L., CARRASCO E., GARCÍA W., EQUISE E., NAVIA O., TORREZ R., ORTUÑO N., FRANCO J. THIELE G. & ESTRADA N. 2001. Experiencias y Logros sobre Mejoramiento Convencional y Selección Participativa de Cultivares de Papa en Bolivia. Revista Latinoamericana de la Papa.12:169-192.

GÁSTELO M., ARCOS J. LANDEO J. & BONIERBALE M. 2010. Nuevas variedades de papa *Solanum tuberosum* spp andígena (B1C5), obtenidas a través de la selección participativa por los agricultores de las comunidades del altiplano, Puno, Perú CIP. I Congreso Internacional de Investigación y Desarrollo de papas nativas, Quito – Ecuador.

GÁRATE A. & BONILLA I. 2000. Nutrición mineral y producción vegetal, In: Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ed. Edicions. Universitat de Barcelona y McGraw-Hill Interamericana. España. 113-130 p.

GHISLAIN M., NÚÑEZ J., HERRERA M. & SPOONER D. 2009. The single Andigenum origin of Neo-tuberosum-Tuberosum potato materials is not supported by microsatellite and plastid marker analyses. *Theor. Appl. Genet.* 118(5): 963-969.

GŁOWACKA A., KLIKOCKA H. & ONUCH J. 2015. Content of zinc and iron in common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) in different weed control methods. *J. Elem.* 20(2): 293-303.

GREGORIO G. 2002. Progress in breeding for trace minerals in staple crops. *Journal of Nutrition* 132 (3): 500-502.

GROTZ N. & GUERINOT M. 2006. Molecular aspects of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. *Biochimica et Biophysica Acta* 1763: 595-608.

KUTMAN U., YILDIZ B. & CAKMAK I. 2011. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. *Plant Soil.* 342:149–164.

HALLAUER A., MIRANDA J. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. First Edition. The Iowa State University Press. 467 p.

HALLAUER A., CARENA M. & MIRANDA J. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. Springer, New York. 3rd ed. Handbook of Plant Breeding. 663 pp

HAYNES K. 2001. Variance components for yield and specific gravity in a diploid potato population after two cycles of recurrent selection. *American Journal of Potato Research* 78: 69-75 pp.

HAWKES J. 1990. The Potato: evolution, biodiversity & genetic resources. Belhaven Press London. 259 pp.

HAWKES J. 1992. Biosystematics of the potato. In Harris P.M. (ed) The potato Crop: the Scientific basis for improvement. 2da edition. Chapman & Hall, Gran Bretaña. 13-60 pp.

HERNÁNDEZ E. 1989. Herencia de los factores de calidad para el procesamiento de papas autotetraploides. Tesis de Posgrado. Universidad Agraria de La Molina, Lima.

HESEN J. 1990. Quality of Potato for the Processing Industry. Production, Post-Harvest Technology and Utilization of Potato in the Warm tropics. Ed. Govinden. Mauritius. 149-153 p.

HORTON O. 1992. La papa: Producción, comercialización y programas. Co-publicación de Centro Internacional de la Papa (CIP) y Hemisferio Sur. Lima, Perú.

HUAMÁN Z. 1980. Botánica sistemática y morfología de la papa. Boletín de Información Técnica No 6 Centro Internacional de la Papa, Lima - Perú. 20 p.

HUAMÁN Z. & SPOONER D. 2002. Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). *Amer. J. Bot.* 89: 947-965.

INEI PRENSA. 2014. Producción de papa creció 45%. Boletín N 082 Lima. Perú <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n-082-2014-inei.pdf>. Consultado el 05 de mayo del 2016.

INOSTROZA J. 2009 Manual de Papas en La Araucanía: Manejo y Plantación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 193.

IBÁÑEZ J. 2007. Biodisponibilidad de los nutrientes por las plantas, ph del suelo y el complejo de cambio o absorbente. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/09/65262>. Consultado en línea el 23 abril del 2016.

JIMENEZ R. 2008. Papa, valor nutricional y su rol en la alimentación. Publicación virtual.

KEMPTON R. & FOX P. 1997. *Statistical Methods for Plant Variety Evaluation*, London: Chapman & Hall. 191 pp.

LANDEO J., GASTELO M., PINEDO H. & FLORES F. 1995. Breeding for horizontal resistance to late blight in potato free of R genes. pp 268–274 in: Dowley L J, Bannon E, Cooke L R, Keane T and O' Sullivan E (eds), *Phytophthora infestans 150*, Proceedings of the European Association for Potato Research (EAPR)- Pathology Section Conference. Dublin, Ireland.

LANDEO J. 2005. Breeding for Host Resistance. Durable resistance: Quantitative/Qualitative resistance. https://research.cip.cgiar.org/typo3/web/fileadmin/Pdfs_Archive/Breeding_Landeo.pdf.

Consultado en línea el 09 de octubre del 2016.

LISINSKA G. & LESZCZYNSKI W. 1989. *Potato Science and Technology*, Elsevier Applied Science, Publishers Ltd., London, New York 1989. 391 pp.

LINDEBOOM N., CHANG P. & TYLER R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review, *Starch/Stärke*: 56(4): 89-99

LYNCH S. & COOK J. 1980. Interaction of vitamin C and iron. *Ann N Y Acad Sci.* 355:32-44.

LINDSAY W. 1991. Inorganic equilibria affecting micro nutrients in soils. In: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M. & Welch, R.M. eds. *Micronutrients in agriculture*. 2nd ed. Madison, USA: Soil Science Society of America. 89-112.

JARRELL W. & BEVERLY R. 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advanced in Agronomy* 34: 197–224.

JEFFERIES R. & MACKERRON D. 1987. Aspects of the physiological basis of cultivar differences in yield of potato under droughted and irrigated conditions. *Potato Research* 30: 201–217

JIN T., ZHOU J., CHEN J., ZHU L., ZHAO Y. & HUANG Y. 2013. The genetic architecture of zinc and iron content in maize grains as revealed by QTL mapping and meta-analysis. *Breeding Science*. 63(3):317-324.

MANAGA L. 2015. Evaluation of Iron (Fe) and Zinc (Zn) concentration among selected potato (*Solanum tuberosum*) genotypes in South Africa. Tesis. University of South Africa. 1-76 pp.

MARTÍN C. & SMITH A. 1995. Starch Biosynthesis 1995, Rev. *The plant cell*, ISSN: 1059-1524.

<http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=160895&blobtype=pdf>.

Consultado el 13 de enero del 2016.

MCGUIRE R. & KELMAN A. 1984. Reduced severity of *Erwinia* soft rot in potato tubers with increased calcium content. *Phytopathology* 74: 1250–1256.

MENDOZA H. & JATALA P. 1982. Breeding for resistance to Root-knot nematodes. In: Proc. Int. Congr. On Research for the potato in the year 2000. International Potato Center. Lima-Perú 199 pp.

MENDOZA H. 1983. Selection of parental stocks for heat tolerance and earliness. In: Present and Future Strategies for potato breeding and Improvement. International Potato Center, Lima, Perú. 7-16 pp.

MENDOZA H. 1984. Selection of parental materials for yield and earliness, in Proc. 9th EAPR Tien. Conf. Interlaken, 194-195 pp.

MENDOZA H. 1985. Advances in population breeding and its potential impact on the efficiency of breeding potatoes for developing countries. In: The Production of new potato varieties. Technological Advances. Ed. G.J. Gellis and D.E. Richardson. Cambridge University Press. England. 370 pp.

MENDOZA H. 1987. Breeding for resistance to potato viruses Y. X. and leafroll: Research strategy and selection procedures.

MENDOZA H. 2008. Genética Cuantitativa y Mejoramiento de papas autotetraploides. http://www.papaslatinas.org/alap/Nuevos_20archivos/CONFERENCIAS/Mendoza.pdf. Consultado en línea 10 marzo 2016.

MENGEL K. & KIRKBY E. 2001. Principles of plant nutrition. 5.ed. Kluwer: Dordrecht. 849 p.

MIHOVILOVICH E., CARAZA M., BURGOS G., APONTE M., BOLUARTE-MEDINA T., VEILLEUX R. & BONIERBALE M. 2014. Genetics and mapping of nutritional traits in Andigena potato. International Potato Center (CIP), Lima, Perú; Virginia Polytechnic Institute & State University, Blacksburg, Virginia, 24061-0327, USA. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/66501/78676.pdf?sequence=1> Consultado en línea el 15 de julio del 2016.

MUÑOZ F. & CRUZ L. 1984. Manual del cultivo de la papa. Quito. INIAP. 44 p.

MUÑOZ, M. 2014. Composición y aportes nutricionales de la papa. Revista Agrícola. 36-37pp. http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2014/09/revista_agricola_octubre_36-37.pdf. Consultado el 23 de abril del 2016.

NCHIMBI-MSOLLA S. & TRYPHONE G. 2010. The effects of the environment on Iron and Zinc concentration and performance of common bean ((Phaseolus vulgaris L.) genotypes. Asian Journal of Plant Sciences, 9(8): 455-462 pp.

NEIRA R. 1986. Tecnología del cultivo de papa. En: Memorias del IV Curso sobre tecnología del cultivo y manejo de semilla de papa. Quito, Ecuador, 15 al 17 de enero de 1986. <http://cipotato.org/region-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/manejo-de-fertilizacion-en-el-cultivo-de-papa/#sthash.yyPHwv6Q.rITaGLbM.dpuf> . Consultado en línea el 15 de octubre del 2016.

ORTIZ R. 2010. La Biofortificación de los cultivos para combatir la anemia y las deficiencias de micronutrientes en el Perú. Programa Mundial de Alimentos (PMA), Lima, Perú. 39 p.

OYARZÚN P., CHAMORRO F., CÓRDOVA J., MERINO F., VALVERDE F. & VELÁZQUEZ, J. 2002. Manejo Agronómico. In: El cultivo de la papa en Ecuador.

Pumisacho, M. y Sherwood, S. (eds). Quito. INIAP, CIP. pp. 51-82. - See more at: <http://cipotato.org/region-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/manejo-de-fertilizacion-en-el-cultivo-de-papa/#sthash.yyPHwv6Q.rITaGLbM.dpuf>. Consultado en línea 8 de mayo del 2016.

PAGET M. 2014. Genetic evaluation models and strategies for potato variety selection. Ph.D. dissertation, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. 1–177 p.

PAGET M., AMOROS W., SALAS E., EYZAGUIRRE R., ALSPACH P., APIOLAZA L., NOBLE A. & BONIERBALE M. 2014. Genetic Evaluation of Micronutrient Traits in Diploid Potato from a Base Population of Andean Landrace Cultivars. *Crop Science*, vol. 54.

PEDRESCHI F. 2009. Fried and dehydrated potato products. In: Singh, J. & Kaur, L. eds. *Advances in potato chemistry and technology*. Burlington: Academic Press, *Elsevier* p. 319-337.

PIEDRAFITA J. 1998. Notas sobre teoría de mejora genética. <https://books.google.com.pe/books?isbn=8449014123>. Consultado en línea 20 de marzo 2016.

PFEIFFER W. 2010. Developing and delivering micronutrient-dense crops. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia, p. 12-15.

PHILLIPPY B., LIN M. & RASCO B. 2004. Analysis of phytate in raw and cooked potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 17: 217–226.

PORRAS E., BURGOS G., SOSA P. & ZUM FELDE T. 2014. Procedures for sampling and sample preparation of sweetpotato roots and potato tubers for mineral analysis. Lima, Peru. International Potato Center (CIP), Global Program Genetics and Crop Improvement. 13p.

RAMIREZ L. 2006. Mejora de plantas alógamas. Tesis. Catedrática de Producción vegetal, Genética y Mejora Vegetal. Universidad Pública de Navarra. Departamento de producción Agraria. Pamplona, España. 34 p.

RAKHI S., NAVEEN G., RAJESWARI A., PAVAN J., ASHWATHANARAYANA R., BEKELE B. & SHASHIDHAR H. 2014. Genetic variability and correlation studies for grain iron concentration and yield related traits in recombinant inbred lines of rice (*Oryza sativa*.L) grown under aerobic condition. International Journal of current research. Karnataka, India 6(3): 5869-5874.

RIOJA A. 2002. Apuntes de fitotecnia general. E.U.I.T.A. https://www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-AnejoIII.pdf Consultado en línea el 24 de abril del 2016.

RIVADENEIRA J., CUESTA X. & MONTEROS C. 2014. Evaluación de clones y variedades de papa con altos contenidos de Fe y Zn en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) en la provincia de Pichincha. V congreso de Papa. Colombia. Bogotá.

RODRIGUES A. & PEREIRA A. 2003. Correlações inter e intra gerações e herdabilidade de cor de chips, matéria seca e produção em batata. Pesquisa Agropecuária Brasileira 38: 599-604.

RODRÍGUEZ L. 2009. Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.). Una Revisión, Agronomía Colombiana, 27(3): 305-312.

SALAS E., MONTAÑEZ A., JUAREZ H., AMOROS W., BURGOS G., CANTO R., SCURRAH M., DE HAAN S. & BONIERBALE M. 2012. Stability analysis for nutritional contents (minerals and vitamin c) on 40 native potato cultivars. XXV Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa. ALAP e ENB. Uberlândia-MG-Brasil.

SALAS E. 2007. Tesis Estudio de la variabilidad genética de la resistencia al virus del enrollamiento de las hojas de papa (PLRV) en una población de papas autotetraploides. Lima, Perú. UNALM. 116 p.

SALAMONI A., PEREIRA A., VIÉGAS J., CAMPOS A. & CHALÁ C. 2000. Variância genética de açúcares redutores e matéria seca e suas correlações com características agrônômicas em batata. Pesquisa Agropecuária Brasileira 35: 1441-1445.

- SALUNKE D., KADAN S. & JADHAV J. 1991. Potato: Production, Processing and products.
- SATTAR M., SULTANA N., HOSSAIN M., RASHID H. & ISLAM A. 2007. Genetic variability, correlation and path analysis in potato (*Solanum tuberosum* L.). Bangladesh J. Pl. Breed. Genet. 20(1): 33-38.
- SHAPIRO S. & WILK M. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52 (3-4): 591-611.
- SLATER A., WILSON G., COGA N., FORSTER W., HAYES J. 2013. Improving the analysis of low heritability complex traits for enhanced genetic gain in potato. Theor. Appl. Genet. 127:809–820.
- SCURRAH M., AMOROS W., BURGOS G., SCHAFLEITNER R. & BONIERBALE M. 2007. Back to the future: millennium traits in native varieties. Acta Hort. 745: 369-378.
- SINGH N., KAUR L., SODHI S. & SEKHON K. 2005. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars, Food Chem: 89(2), 253–259.
- SILVA GO., PEREIRA A., SOUZA V., CARVALHO F. & FRITSCHÉ R. 2008. Seleção para caracteres componentes de aparência e rendimento de tubérculo em plântulas de batata. Horticultura Brasileira 26: 325-329.
- SHUMAN L. 1998. Micronutrient fertilizers. Journal of Crop Production 1:165–195.
- SOSA P., BURGOS G. & ZUM T. 2014. Procedure for iron and zinc analysis of freeze dried and milled sweetpotato root and potato tuber samples by X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF). Lima, Perú. International Potato Center (CIP), Global Program Genetics and Crop Improvement. 36p.
- SPOONER D., NÚÑEZ G., TRUJILLO M., HERRERA F., GUZMÁN M. & GHISLAIN M. 2007. Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification. 104(49): 19398-19403.

STOREY M. 2007. The harvested crop. In: Vreugdenhil, D et al. eds. Potato Biology and Biotechnology, *Elsevier Science*. p. 441-470.

STOLTZFUS R. 2001. Iron-deficiency anemia: reexamining the nature and magnitude of the public health problem. Summary: implications for research and programs. *J. Nutr.* 131: 697_700.

ŠREK P., HEJCMAN M. & KUNZOVÁ E. 2010. Multivariate analysis of relationship between potato (*Solanum tuberosum* L.) yield, amount of applied elements, their concentrations in tubers and uptake in a long-term fertilizer experiment. *Field Crops Research* 118: 183-193.

SUBRAMANIAN N., WHITE J., BROADLEY M. & RAMSAY G. 2011. The three-dimensional distribution of minerals in potato tubers. *Annals of Botany* 107: 681–691.

TALENTOS POR LA VIDA. Valor nutritivo de la papa. <http://www.talentosparalavida.org/nota151.asp>. Consultado en línea el 4 marzo del 2016

TALBURT W. & SMITH O. 1975. The potato of processing. The AVI Publishing, Inc. Westport, Connecticut, USA. 705 p.

TEUCHER B., OLIVARES M. & CORI. 2004. Enhancers of iron absorption: ascorbic acid and other organic acids. *Int J Vitam Nutr Res.* 74(6):403-19.

TEKALIGNE T. & HAMMES P. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth. II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae* 105: 29-44.

TIWARI C., WALLWORK H. & ARUN B. 2016. Molecular mapping of quantitative trait loci for zinc, iron and protein content in the grains of hexaploid wheat. *Euphytica* 207: 563.

TREHAN S. & SHARMA R. 1996. Mineral nutrient composition in peels and flesh of tubers of potato genotypes. *Journal of the Indian Potato Association* 23: 139–143.

THOMPSON P. & MENDOZA H. 1984. Genetic variance estimates in a heterogenous potato population propagated from true seed (TPS). *Am. Potato J.* 61: 697-702.

THOMPSON P., MENDOZA A. & PLAISTED R. 1983. Estimation of genetic parameters for characters related to potato propagation by true seed (TPS) in an Andigena population. *Am. Potato J.* 60: 393-401.

TRUE R., HOGAN J., AUGUSTIN J., JOHNSON S., TOMA B. & SHAW R. 1978. Mineral composition of freshly harvested potatoes. *Am. Potato J.* 55:511-519

TUNA A. 2008. The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. *Environmental and Experimental Botany*, Elmsford,

VALVERDE F., CÓRDOVA J. & PARRA R. 1998. Fertilización del cultivo de la papa. Quito. INIAP, PNRT/Papa, DMSA. 37 p. - See more at: <http://cipotato.org/region-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/manejo-de-fertilizacion-en-el-cultivo-de-papa/#sthash.yyPHwv6Q.rITaGLbM.dpuf>. Consultado el 14 de abril del 2016.

VALLEJO C. & ESTRADA S. 2002. Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias Palmira. 402 p.

VANDEPUTTE G. & DELCOUR A. 2004. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: a focus on rice starch, *Carboh. Polym.*: 58(3): 245–266

VARGAS C. 1949. Las Papas Sudperuanas. Parte I. Universidad Nacional del Cusco, Cusco. 144 p.

WELCH R. & GRAHAM R. 2005. Agriculture: the real nexus for enhancing bioavailable micronutrients in food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18: 299–307.

WELCH M. & GRAHAM D. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany* 55: 353-364.

WELCH M. 1999. Importance of seed mineral nutrient reserves in crop growth and development. In: Rengel, Z. eds. *Mineral nutrition of crops. Fundamental mechanisms and implications*. New York: Food Products Press, p. 205–226.

- WELCH M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews of Plant Science* 14: 49-82.
- WRICKE G. & WEBER W. 1986. *Quantitative Genetics and Selection in Plant Breeding*. Walter de Gruyter & Co. Berlin. pp. 406.
- WHITE P. & BROADLEY M. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets: iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist* 182: 49-84
- WHITE P., BRADSHAW J., DALE F., RAMSAY G., HAMMOND J. & BROADLEY M. 2009. Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. *HortScience* 44: 6–11.
- WHITE P., WHITING S., BAKER A. & BROADLEY M. 2002. Does zinc move apoplastically to the xylem in roots of *Thlaspi caerulescens*? *New Phytologist* 153: 201-207.
- WILSON E., ROWNTREE S., SUHRE J., WEIDENBENNER N. H., CONLEY S., DAVIS V., DIERS B., ESKER P., NAEVE S., SPECHT J. & CASTEEL S. 2014. Genetic Gain × Management Interactions in Soybean: II. Nitrogen Utilization. *Crop Science*. Vol. 54 (1): 20-25.
- WOOLFE J. 1987. *The potato in the human diet*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 231 pp.
- WSZELAKI A., DELWICHE J., WALKER S., LIGGETT R., SCHEERENS J. & KLEINHENZ M. 2005. Sensory quality and mineral and glycoalkaloid concentrations in organically and conventionally grown redskin potatoes (*Solanum tuberosum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85: 720–726.
- ZUÑIGA L. 1989. Determinación de componentes de variancia genética en una población avanzada de papas autotetraploides. Tesis Magister Scientiae, UNALM. Lima-Perú. 85 p.
- ZUÑIGA L., MOLINA J. & CADENA A. 2000. Resistencia al Tizón Tardío de la Papa (*Phytophthora infestans*) en Cruzamientos de Cultivares y Clones de Papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*. 18(1): 1-9.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Suelo

Características	Valor1	Valor2	Valor3	Valor4
Arena	74.84	71.84	74.84	65.84
Arcilla	16	19	16	23
Limo	9.16	9.16	9.16	11.16
Textura de suelo	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso
% Saturación de base	35.66	33.79	30.09	34.55
%CaCO ₃	0.01	0.01	0.01	0.01
Conductividad eléctrica a 25°C(dS/m)	1.14	0.81	0.76	0.94
pH a T=23°C	5.53	5.44	5.43	5.36
Fosforo (ppm)	299.38	291.42	299.33	276.8
% Materia organica	3.52	3.59	3.03	3.38
% de Nitrogeno	0.2	0.21	0.18	0.2
Potasio (ppm)	337.8	289	237.8	225.4
Ca intercambiable (mEq/100g)	7.23	7.36	7.12	7.87
Mg intercambiable (mEq/100g)	1.78	1.7	1.64	1.7
Na intercambiable (mEq/100g)	0.18	0.14	0.15	0.1
K intercambiable (mEq/100g)	0.81	0.7	0.59	0.55
% Na intercambiable	1.25	1.26	1.53	1.22
Capacidad intercambiable (mEq/100g)	10.13	10.03	9.64	10.34
Cloruro soluble (mEq/L)	3.79	1.72	2.44	2.58
SO ₄ (mEq/L)	2.08	1.07	1.54	1.69
NO ₄ (mEq/L)	3.86	3.97	2.31	3.56
CO ₃ (mEq/L)	0.01	0.01	0.01	0.01
(CO ₃) ₂ (mEq/L)	0.31	0.43	0.47	0.66
Ca soluble (mEq/L)	5.12	3.33	3.28	3.72
Mg soluble (mEq/L)	1.88	1.35	1.25	1.52
Na soluble (mEq/L)	1.45	1.11	0.75	0.8
K soluble (mEq/L)	2.03	1.57	1.62	2.33
B (ppm)	0.54	0.59	0.6	0.62
Cu (ppm)	3.5	5.01	5.11	5.01
Zn (ppm)	2.55	2.83	2.58	2.46
Mn (ppm)	13.23	17.08	17.92	13.08
Fe (ppm)	192.3	205.95	194.25	188.4
Al+ H (Meq/100g)	0.13	0.13	0.15	0.13

Anexo 2. Análisis de Materia orgánica de la muestra de guano.

Parametro	Valor
%CaCO3	4.28
Conductividad eléctrica a 25°C(dS/m)	9.9
pH a T=23°C	7.29
% Materia organica	50.42
% de Nitrogeno	1.86
B (ppm)	32.6
Cu (ppm)	15
Zn (ppm)	103.5
Mn (ppm)	487.5
Fe (ppm)	871
Total cationes	33.77
% Carbono organico	29.25
% total	9.38
% Impurezas	6.43
% Total de P	0.5
% Total de K	1.55
% Total de Ca	2.13
% Total de Mg	0.33
% Total de S	0.19
% Total de Na	0.12
% Total de Cl	0.25
C/N	15.72

Anexo 3. Datos crudos de micronutrientes y de componentes de rendimiento

Genotipo	Ciclo	Rep	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	% de Materia Seca	Nro. de tubérculos por planta	Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP700313	Ciclo0	1	27.27	19.00	25.31	49.00	9.78	53.88
CIP700313	Ciclo0	2	28.85	20.07	26.71	63.00	14.30	61.27
CIP700313	Ciclo0	3	24.90	16.12	26.99	47.00	9.93	57.02
CIP700313	Ciclo0	4	25.48	18.64	25.46	78.00	14.67	50.77
CIP701165	Ciclo0	1	23.67	22.93	23.07	24.00	5.48	61.67
CIP701165	Ciclo0	2	21.03	13.58	23.30	55.00	16.67	81.82
CIP701165	Ciclo0	3	26.11	20.83	26.49	38.00	11.63	82.66
CIP701165	Ciclo0	4	23.62	20.10	25.04	48.00	14.15	79.58
CIP702736	Ciclo0	1	21.51	16.99	23.91	53.00	8.81	44.91
CIP702736	Ciclo0	2	25.08	15.81	23.66	47.00	7.93	45.53
CIP702736	Ciclo0	3	20.04	16.20	26.70	40.00	4.74	32
CIP702736	Ciclo0	4	20.58	20.32	24.33	20.00	3.11	42
CIP702815	Ciclo0	1	29.06	19.27	24.78	18.00	6.44	96.67
CIP702815	Ciclo0	2	32.16	22.05	23.36	9.00	2.37	71.11
CIP702815	Ciclo0	3	29.82	17.80	26.55	12.00	4.15	93.33
CIP702815	Ciclo0	4	29.25	23.54	24.68	8.00	2.77	93.44
CIP703168	Ciclo0	1	19.26	11.19	25.90	38.00	9.93	70.53
CIP703168	Ciclo0	2	19.74	11.27	24.93	40.00	8.67	58.5
CIP703168	Ciclo0	3	20.65	12.78	24.08	35.00	11.48	88.57
CIP703168	Ciclo0	4	22.62	17.18	23.69	44.00	9.85	60.45
CIP703197	Ciclo0	1				19.00	12.07	171.58
CIP703197	Ciclo0	2				25.00	9.41	101.6
CIP703197	Ciclo0	3				21.00	10.05	129.23
CIP703197	Ciclo0	4				19.00	8.96	127.31
CIP703280	Ciclo0	1	26.63	20.88	20.73	45.00	10.89	65.33
CIP703280	Ciclo0	2	25.88	20.64	18.81	75.00	12.59	45.33
CIP703280	Ciclo0	3	24.53	19.63	21.81	35.00	9.26	71.43
CIP703280	Ciclo0	4	25.43	18.72	20.92	39.00	9.93	68.72
CIP703287	Ciclo0	1	25.62	17.21	32.02	41.00	5.26	34.63
CIP703287	Ciclo0	2	26.89	15.97	29.83	52.00	7.33	38.08
CIP703287	Ciclo0	3	30.28	22.49	30.78	52.00	8.37	43.46
CIP703287	Ciclo0	4	30.72	21.58	28.42	62.00	10.30	44.84
CIP703291	Ciclo0	1	26.49	27.16	18.04	61.00	10.07	44.59
CIP703291	Ciclo0	2	25.71	19.12	22.68	75.00	23.41	84.27
CIP703291	Ciclo0	3	22.45	17.52	21.82	119.00	24.44	55.46
CIP703291	Ciclo0	4	25.15	25.00	20.74	92.00	17.78	52.17

Continua

Genotipo	Ciclo	Rep	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	% de Materia Seca	Nro. de tubérculos por planta	Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP703312	Ciclo0	1	32.07	22.28	23.36	74.00	8.44	30.81
CIP703312	Ciclo0	2	31.86	23.85	20.08	68.00	18.67	74.12
CIP703312	Ciclo0	3	31.32	20.23	24.29	50.00	7.26	39.2
CIP703312	Ciclo0	4	31.06	25.23	24.29	56.00	8.52	41.07
CIP703317	Ciclo0	1	26.23	21.54	22.40	22.00	4.59	56.36
CIP703317	Ciclo0	2	24.81	18.07	25.42	27.00	7.85	78.52
CIP703317	Ciclo0	3	23.68	17.06	23.17	17.00	3.41	54.12
CIP703317	Ciclo0	4	27.35	21.16	25.71	13.00	3.04	63.08
CIP703421	Ciclo0	1				7.00	2.00	77.14
CIP703421	Ciclo0	2				3.00	0.74	66.67
CIP703421	Ciclo0	3				10.00	2.59	70
CIP703421	Ciclo0	4				6.00	1.11	50
CIP703825	Ciclo0	1	27.51	15.43	26.95	8.00	1.78	60
CIP703825	Ciclo0	2	23.39	17.95	22.82	11.00	2.07	50.91
CIP703825	Ciclo0	3	23.39	12.25	25.94	9.00	3.19	95.56
CIP703825	Ciclo0	4	24.56	13.52	26.41	8.00	3.56	120
CIP703831	Ciclo0	1	20.86	13.84	26.37	82.00	9.04	29.76
CIP703831	Ciclo0	2	21.29	14.70	26.67	71.00	13.78	52.39
CIP703831	Ciclo0	3	19.95	15.13	24.82	41.00	11.56	76.1
CIP703831	Ciclo0	4	20.79	23.09	26.14	65.00	10.30	42.77
CIP704218	Ciclo0	1	19.84	16.23	25.14	112.00	15.11	36.43
CIP704218	Ciclo0	2	21.08	18.17	24.82	94.00	10.67	30.64
CIP704218	Ciclo0	3	17.56	14.22	25.89	54.00	9.11	45.56
CIP704218	Ciclo0	4	21.28	20.29	23.31	90.00	11.63	34.89
CIP704393	Ciclo0	1	19.41	13.25	28.17	112.00	18.44	44.46
CIP704393	Ciclo0	2	21.32	12.65	25.98	89.00	8.59	26.07
CIP704393	Ciclo0	3	21.79	13.12	28.02	52.00	8.07	41.92
CIP704393	Ciclo0	4	19.69	10.86	28.47	38.00	6.96	49.47
CIP704481	Ciclo0	1	20.73	12.04	21.63	87.00	7.85	24.37
CIP704481	Ciclo0	2	17.56	12.02	22.57	96.00	14.89	41.88
CIP704481	Ciclo0	3	21.32	12.14	20.97	53.00	10.96	55.85
CIP704481	Ciclo0	4	21.12	12.16	22.40	88.00	12.74	39.09

Continúa

Genotipo	Ciclo	Rep	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	% de Materia Seca	Nro. de tubérculos por planta	Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP306018.4	Ciclo2	1	27.35	15.95	25.35	117.00	16.81	38.80
CIP306018.4	Ciclo2	2	23.19	16.40	25.07	106.00	26.00	66.23
CIP306018.4	Ciclo2	3	24.24	19.50	24.90	74.00	16.44	60.00
CIP306018.4	Ciclo2	4	23.20	16.86	25.11	59.00	21.26	97.29
CIP306018.66	Ciclo2	1	26.34	16.05	24.18	118.00	27.19	62.20
CIP306018.66	Ciclo2	2	22.96	13.61	24.15	119.00	29.85	67.73
CIP306018.66	Ciclo2	3	24.15	14.66	23.04	108.00	27.63	69.07
CIP306018.66	Ciclo2	4	24.51	17.53	23.34	88.00	20.52	62.95
CIP306022.69	Ciclo2	1	24.72	19.27	23.51	66.00	14.22	58.18
CIP306022.69	Ciclo2	2	22.77	17.65	24.86	50.00	13.70	74.00
CIP306022.69	Ciclo2	3	22.77	17.18	22.57	39.00	11.19	77.44
CIP306022.69	Ciclo2	4	23.93	20.76	23.37	32.00	8.67	73.13
CIP306087.132	Ciclo2	1	34.44	20.44	21.41	58.00	7.74	36.03
CIP306087.132	Ciclo2	2	34.79	23.15	21.91	73.00	7.48	27.67
CIP306087.132	Ciclo2	3	32.64	20.13	23.21	63.00	7.48	32.06
CIP306087.132	Ciclo2	4	30.00	21.22	22.63	69.00	8.30	32.46
CIP306087.56	Ciclo2	1	25.53	27.22	24.86	44.00	5.85	35.91
CIP306087.56	Ciclo2	2	22.89	19.20	26.14	48.00	16.81	94.58
CIP306087.56	Ciclo2	3	25.95	19.10	25.53	45.00	11.70	70.22
CIP306087.56	Ciclo2	4	27.03	22.17	26.81	37.00	6.15	44.86
CIP306087.72	Ciclo2	1	21.46	14.09	24.79	87.00	12.07	37.47
CIP306087.72	Ciclo2	2	21.92	17.51	22.93	62.00	15.41	67.10
CIP306087.72	Ciclo2	3	21.49	14.42	22.79	60.00	11.63	52.33
CIP306087.72	Ciclo2	4	22.81	14.74	23.08	60.00	9.33	42.00
CIP306140.140	Ciclo2	1	31.59	18.05	23.48	109.00	11.85	29.36
CIP306140.140	Ciclo2	2	30.87	20.39	24.51	112.00	17.93	43.21
CIP306140.140	Ciclo2	3	31.23	16.86	24.87	83.00	6.81	22.17
CIP306140.140	Ciclo2	4	32.26	21.45	24.43	130.00	13.48	28.00
CIP306140.78	Ciclo2	1	31.37	21.42	23.60	96.00	15.63	43.96
CIP306140.78	Ciclo2	2	31.05	22.81	22.29	97.00	20.81	57.94
CIP306140.78	Ciclo2	3	26.58	20.25	23.33	90.00	13.93	41.78
CIP306140.78	Ciclo2	4	29.96	22.20	23.71	101.00	13.41	35.84
CIP306143.122	Ciclo2	1	25.79	20.50	24.40	86.00	17.19	53.95
CIP306143.122	Ciclo2	2	27.87	19.55	23.44	58.00	8.07	37.59
CIP306143.122	Ciclo2	3	25.68	17.52	25.10	46.00	7.78	45.65
CIP306143.122	Ciclo2	4	28.53	19.15	24.01	67.00	15.78	63.58

Continúa

Genotipo	Ciclo	Rep	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	% de Materia Seca	Nro. de tubérculos por planta	Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP306143.62	Ciclo2	1	28.55	16.66	25.15	80.00	8.13	27.45
CIP306143.62	Ciclo2	2	28.87	19.71	23.30	59.00	9.41	43.05
CIP306143.62	Ciclo2	3	28.46	19.88	25.15	74.00	10.96	40.00
CIP306143.62	Ciclo2	4	27.59	19.08	25.34	41.00	4.30	28.29
CIP306143.65	Ciclo2	1	27.31	17.70	22.27	61.00	17.85	79.02
CIP306143.65	Ciclo2	2	28.70	20.39	21.99	49.00	12.00	66.12
CIP306143.65	Ciclo2	3	27.07	21.17	24.07	42.00	11.04	70.95
CIP306143.65	Ciclo2	4	27.71	20.74	23.02	46.00	13.63	80.00
CIP306154.126	Ciclo2	1	24.01	14.99	23.02	117.00	10.52	24.27
CIP306154.126	Ciclo2	2	26.46	17.34	22.33	117.00	9.19	21.20
CIP306154.126	Ciclo2	3	27.15	20.41	23.39	57.00	7.85	37.19
CIP306154.126	Ciclo2	4	24.16	18.28	24.37	60.00	5.04	22.67
CIP306155.68	Ciclo2	1	28.19	20.60	22.54	128.00	14.94	31.51
CIP306155.68	Ciclo2	2	27.66	15.38	22.65	126.00	20.59	44.13
CIP306155.68	Ciclo2	3	25.13	18.30	23.21	105.00	8.22	21.14
CIP306155.68	Ciclo2	4	24.00	15.24	23.81	152.00	16.00	28.42
CIP306155.73	Ciclo2	1	23.55	14.81	24.58	62.00	9.26	40.32
CIP306155.73	Ciclo2	2	26.43	20.48	23.69	53.00	9.63	49.06
CIP306155.73	Ciclo2	3	26.50	18.32	23.26	39.00	4.89	33.85
CIP306155.73	Ciclo2	4	25.59	13.94	24.40	49.00	13.33	73.47
CIP306416.68	Ciclo2	1	30.11	20.43	21.86	41.00	10.37	68.29
CIP306416.68	Ciclo2	2	33.97	20.19	22.78	73.00	15.56	57.53
CIP306416.68	Ciclo2	3	35.07	22.55	22.47	45.00	4.89	29.33
CIP306416.68	Ciclo2	4	33.12	22.04	23.12	47.00	10.89	62.55
CIP306417.79	Ciclo2	1	33.25	28.14	26.20	95.00	6.81	19.37
CIP306417.79	Ciclo2	2	34.26	26.27	25.84	172.00	21.56	33.84
CIP306417.79	Ciclo2	3	31.27	26.46	25.46	115.00	11.93	28.00
CIP306417.79	Ciclo2	4	33.48	27.15	27.71	173.00	20.00	31.21
CIP306418.1	Ciclo2	1	33.24	23.05	22.70	92.00	16.44	48.26
CIP306418.1	Ciclo2	2	28.48	20.03	22.62	82.00	23.85	78.54
CIP306418.1	Ciclo2	3	26.39	18.72	24.58	94.00	27.63	79.36
CIP306418.1	Ciclo2	4	31.23	25.14	23.48	70.00	16.96	65.43
CIP306418.53	Ciclo2	1	28.34	18.94	25.11	70.00	12.81	49.43
CIP306418.53	Ciclo2	2	28.47	17.54	23.87	65.00	25.78	107.08
CIP306418.53	Ciclo2	3	29.65	19.84	24.45	52.00	9.41	48.85
CIP306418.53	Ciclo2	4	30.79	22.11	25.67	68.00	18.30	72.65

Continua

Genotipo	Ciclo	Rep	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	% de Materia Seca	Nro. de tubérculos por planta	Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP306418.69	Ciclo2	1	33.30	21.23	23.55	52.00	11.74	60.96
CIP306418.69	Ciclo2	2	38.62	25.08	25.42	52.00	13.11	68.08
CIP306418.69	Ciclo2	3	35.47	25.23	24.01	52.00	14.59	75.77
CIP306418.69	Ciclo2	4	34.81	23.85	22.96	69.00	13.33	52.17
CIP306514.64	Ciclo2	1	28.40	24.65	23.60	59.00	13.04	59.66
CIP306514.64	Ciclo2	2	30.68	27.03	22.95	87.00	14.22	44.14
CIP306514.64	Ciclo2	3	28.85	26.04	23.77	48.00	11.19	62.92
CIP306514.64	Ciclo2	4	27.46	21.81	23.83	70.00	11.56	44.57
CIP311083.21	Ciclo3	1	37.99	25.40	19.86	61.00	9.70	42.95
CIP311083.21	Ciclo3	2	36.97	26.43	19.58	65.00	9.70	40.31
CIP311083.21	Ciclo3	3	41.63	29.04	19.92	50.00	9.70	52.40
CIP311083.21	Ciclo3	4	38.88	27.94	20.54	62.00	8.15	35.50
CIP311083.5	Ciclo3	1	35.38	20.47	21.84	102.00	9.26	24.51
CIP311083.5	Ciclo3	2	33.29	19.43	22.69	60.00	6.00	27.00
CIP311083.5	Ciclo3	3	36.14	23.64	22.71	92.00	9.48	27.83
CIP311083.5	Ciclo3	4	34.96	22.17	23.16	82.00	6.69	22.04
CIP311097.55	Ciclo3	1	35.57	21.29	25.26	82.00	11.26	37.07
CIP311097.55	Ciclo3	2	32.87	15.15	25.81	67.00	9.00	36.27
CIP311097.55	Ciclo3	3	32.66	20.77	27.72	61.00	8.44	37.38
CIP311097.55	Ciclo3	4	30.38	17.63	26.13	58.00	7.33	34.14
CIP311103.30	Ciclo3	1				56.00	6.37	30.71
CIP311103.30	Ciclo3	2				55.00	6.52	32.00
CIP311103.30	Ciclo3	3				51.00	5.81	30.78
CIP311103.30	Ciclo3	4				44.00	3.53	21.69
CIP311166.10	Ciclo3	1	32.98	17.63	17.66	66.00	15.85	64.85
CIP311166.10	Ciclo3	2	31.50	22.39	16.34	56.00	8.00	38.57
CIP311166.10	Ciclo3	3	35.18	21.28	16.29	88.00	17.33	53.18
CIP311166.10	Ciclo3	4	31.54	21.42	17.51	86.00	12.18	38.23
CIP311166.3	Ciclo3	1				20.00	3.19	43.00
CIP311166.3	Ciclo3	2				7.00	1.70	65.71
CIP311166.3	Ciclo3	3				17.00	2.59	41.18
CIP311166.3	Ciclo3	4				18.00	2.18	32.64
CIP311209.16	Ciclo3	1	32.14	20.39	23.23	63.00	9.63	41.27
CIP311209.16	Ciclo3	2	33.94	25.02	22.19	74.00	14.07	51.35
CIP311209.16	Ciclo3	3	37.39	25.70	22.13	91.00	11.19	33.19
CIP311209.16	Ciclo3	4	34.51	24.69	23.27	76.00	7.61	27.03

Continua

Genotipo	Ciclo	Rep	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	% de Materia Seca	Nro. de tubérculos por planta	Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP311339.114	Ciclo3	1	31.82	25.31	16.33	102.00	10.96	29.02
CIP311339.114	Ciclo3	2	32.52	30.61	13.74	145.00	11.11	20.69
CIP311339.114	Ciclo3	3	31.16	25.08	14.79	125.00	11.56	24.96
CIP311339.114	Ciclo3	4	34.57	25.08	15.87	126.00	16.96	36.35
CIP311339.2	Ciclo3	1	31.20	26.65	24.33	129.00	18.67	39.07
CIP311339.2	Ciclo3	2	30.36	29.72	21.35	112.00	18.44	44.46
CIP311339.2	Ciclo3	3	29.38	21.64	25.99	145.00	22.59	42.07
CIP311339.2	Ciclo3	4	27.60	25.11	25.36	81.00	8.07	26.91
CIP311420.14	Ciclo3	1	29.89	20.08	23.26	82.00	17.93	59.02
CIP311420.14	Ciclo3	2	26.45	17.35	22.59	74.00	26.07	95.14
CIP311420.14	Ciclo3	3	27.52	19.51	23.78	123.00	28.67	62.93
CIP311420.14	Ciclo3	4	26.25	18.47	23.55	111.00	19.78	48.11
CIP311420.19	Ciclo3	1	30.99	22.99	23.01	189.00	19.41	27.72
CIP311420.19	Ciclo3	2	28.01	22.28	22.74	160.00	20.81	35.13
CIP311420.19	Ciclo3	3	29.52	23.42	21.52	166.00	25.04	40.72
CIP311420.19	Ciclo3	4	31.18	24.53	22.02	171.00	24.00	37.89
CIP311420.74	Ciclo3	1	28.25	19.41	22.88	123.00	19.70	43.25
CIP311420.74	Ciclo3	2	27.85	33.13	19.49	178.00	18.96	28.76
CIP311420.74	Ciclo3	3	25.77	17.24	24.29	189.00	25.48	36.40
CIP311420.74	Ciclo3	4	29.52	24.25	22.97	167.00	19.70	31.86
CIP311422.14	Ciclo3	1	36.04	24.48	22.96	160.00	17.56	29.63
CIP311422.14	Ciclo3	2	34.19	30.52	25.32	127.00	9.85	20.94
CIP311422.14	Ciclo3	3	39.03	26.46	25.25	135.00	13.85	27.70
CIP311422.14	Ciclo3	4	38.36	30.01	26.50	165.00	19.70	32.24
CIP311422.19	Ciclo3	1	36.44	27.14	24.79	83.00	12.96	42.17
CIP311422.19	Ciclo3	2	33.23	22.20	21.52	70.00	8.44	32.57
CIP311422.19	Ciclo3	3	32.99	19.78	22.89	100.00	19.93	53.80
CIP311422.19	Ciclo3	4	32.55	19.72	21.31	80.00	10.89	36.75
CIP311422.33	Ciclo3	1	30.76	23.61	17.63	175.00	24.22	37.37
CIP311422.33	Ciclo3	2	34.35	29.26	16.45	238.00	24.15	27.39
CIP311422.33	Ciclo3	3	29.00	24.05	19.15	220.00	23.70	29.09
CIP311422.33	Ciclo3	4	29.98	25.15	19.24	160.00	15.78	26.63
CIP311575.103	Ciclo3	1	38.81	25.01	24.40	69.00	11.70	45.80
CIP311575.103	Ciclo3	2	36.82	26.00	21.59	89.00	14.63	44.38
CIP311575.103	Ciclo3	3	36.57	19.06	26.12	84.00	14.74	47.38
CIP311575.103	Ciclo3	4	35.10	24.34	24.79	84.00	12.15	39.05

Continua

Genotipo	Ciclo	Rep	Hierro (mg kg ⁻¹)	Zinc (mg kg ⁻¹)	% de Materia Seca	Nro. de tubérculos por planta	Rendimiento de tubérculos (t ha ⁻¹)	Peso promedio de tubérculos (g)
CIP311575.64	Ciclo3	1	39.72	29.73	17.63	228.00	15.26	18.07
CIP311575.64	Ciclo3	2	36.54	24.86	19.18	160.00	17.11	28.88
CIP311575.64	Ciclo3	3	39.35	32.57	19.10	180.00	13.56	20.33
CIP311575.64	Ciclo3	4	38.23	28.70	19.52	203.00	14.89	19.80
CIP311576.5	Ciclo3	1	35.79	19.50	19.43	71.00	8.96	34.08
CIP311576.5	Ciclo3	2	42.08	20.29	18.63	86.00	9.78	30.70
CIP311576.5	Ciclo3	3	38.02	19.50	19.72	77.00	3.19	11.17
CIP311576.5	Ciclo3	4	38.65	20.75	20.01	85.00	5.78	18.35
CIP311622.35	Ciclo3	1	27.40	17.22	24.79	224.00	26.59	32.05
CIP311622.35	Ciclo3	2	24.44	14.63	26.05	130.00	32.30	67.08
CIP311622.35	Ciclo3	3	27.64	17.86	26.59	185.00	20.81	30.38
CIP311622.35	Ciclo3	4	31.43	21.00	27.23	192.00	17.85	25.10
CIP311623.105	Ciclo3	1	29.56	20.60	23.51	178.00	18.67	28.31
CIP311623.105	Ciclo3	2	32.47	27.00	22.04	222.00	26.74	32.52
CIP311623.105	Ciclo3	3	26.11	20.50	27.09	267.00	21.93	22.17
CIP311623.105	Ciclo3	4	28.80	24.06	21.38	183.00	22.89	33.77
CIP311623.123	Ciclo3	1	33.42	24.13	18.09	178.00	22.74	34.49
CIP311623.123	Ciclo3	2	31.43	24.40	18.10	150.00	25.48	45.87
CIP311623.123	Ciclo3	3	31.23	26.72	17.69	192.00	23.78	33.44
CIP311623.123	Ciclo3	4	33.19	26.10	21.60	162.00	16.00	26.67
CIP311623.75	Ciclo3	1	37.00	26.49	25.20	187.00	10.93	15.78
CIP311623.75	Ciclo3	2	34.00	24.18	25.38	193.00	12.15	16.99
CIP311623.75	Ciclo3	3	35.55	30.90	24.57	179.00	13.11	19.78
CIP311623.75	Ciclo3	4	36.68	29.70	25.85	169.00	7.56	12.07