

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**"RELACIÓN ENTRE CARACTERES FENOTÍPICOS DE
TUBÉRCULOS DE PAPAS NATIVAS CON EL CONTENIDO DE
MATERIA SECA Y MINERALES"**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

GLADYS CAROLINA GOÑI VEGA

LIMA – PERÚ

2023










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

(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

Document Information

| | |
|-------------------|---|
| Analyzed document | TesisGofii-Definitivo.docx (D143160606) |
| Submitted | 8/22/2022 5:47:00 PM |
| Submitted by | ROLANDO PERCY EGUSQUIZA BAYONA |
| Submitter email | pegusquiza@lamolina.edu.pe |
| Similarity | 8% |
| Analysis address | pegusquiza.unalm@analysisurkund.com |

Sources included in the report

| | | |
|-----------|---|--|
| SA | Universidad Nacional Agraria La Molina / Tesis Piero Rouillon.docx Document Tesis Piero Rouillon.docx (D143086316) Submitted by: pegusquiza@lamolina.edu.pe Receiver: pegusquiza.unalm@analysisurkund.com |  2 |
| SA | ACI-2018-012.docx Document ACI-2018-012.docx (D45492990) |  2 |
| SA | Mejoramiento genético de la papa-libro para evaluar (1).docx Document Mejoramiento genético de la papa-libro para evaluar (1).docx (D110211075) |  12 |
| SA | Universidad Nacional Agraria La Molina / Artículo - Fernando Chung.docx Document Artículo - Fernando Chung.docx (D123675899) Submitted by: fchung@lamolina.edu.pe Receiver: fchung.unalm@analysisurkund.com |  5 |
| SA | Perfil Almidon_de_papa.docx Document Perfil Almidon_de_papa.docx (D13433340) |  1 |
| SA | ENIS BLADIMIR DIAZ MANOSALVA- AGRONOMIA.pdf Document ENIS BLADIMIR DIAZ MANOSALVA- AGRONOMIA.pdf (D115087073) |  2 |
| SA | Ponencia congreso de cocinas regionales INIAP final (16 mayo 2014).docx Document Ponencia congreso de cocinas regionales INIAP final (16 mayo 2014).docx (D11342942) |  2 |
| SA | Plasencia_Amaya_Franklin_Titulo_Profesional_2016.pdf Document Plasencia_Amaya_Franklin_Titulo_Profesional_2016.pdf (D27115881) |  1 |
| W | URL: http://www.powerparts.it/gates_pdf/heavy_duty_belts.pdf Fetched: 8/13/2021 1:35:44 PM |  6 |

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**"RELACIÓN ENTRE CARACTERES FENOTÍPICOS DE
TUBÉRCULOS DE PAPAS NATIVAS CON EL CONTENIDO DE
MATERIA SECA Y MINERALES"**

GLADYS CAROLINA GOÑI VEGA

Tesis para optar el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....

Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa

PRESIDENTE

.....

Ing. Mg. Sc. Rolando Percy Egúsquiza Bayona

ASESOR

.....

Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto

MIEMBRO

.....

Dr. Juan Waldir Mendoza Cortez.

MIEMBRO

LIMA - PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo antes y durante la elaboración de esta investigación, y a mis abuelos por su cariño incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por cada nuevo comienzo, logro y alegría que puedo compartir con ustedes y lo hacen propio. A mis cuatro hermanos, por su apoyo directo e indirecto durante la elaboración del presente trabajo.

Al profesor Rolando Egúsqiza, por su experiencia en el cultivo de papa e investigación que lograron abrir paso al proyecto y consecuente trabajo de tesis con los tubérculos de papa provenientes de la chacra del agricultor Raymundo Palacios.

Al personal del PIPS-RT, Don Jaime y Fortunato, por su apoyo y facilidades brindadas durante la primera fase experimental. Así como a los trabajadores del Laboratorio de Suelos por su asesoramiento en la segunda etapa, en especial a Don Mario por su cordialidad.

Al profesor Jesús Salinas, por el apoyo en el análisis estadístico. Además, al profesor Braulio La Torre, por las facilidades para ingresar y solicitar servicios de análisis de elementos al Laboratorio de Suelos durante la emergencia Sanitaria por COVID-19.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Marco conceptual | 3 |
| 2.1.1. Accesión | 3 |
| 2.1.2. Agrobiodiversidad | 3 |
| 2.1.3. Bancos de Germoplasma | 3 |
| 2.1.4. Cultivar | 3 |
| 2.1.5. Clon | 4 |
| 2.1.6. Descriptores morfológicos | 4 |
| 2.1.7. Ecotipos | 4 |
| 2.1.8. Germoplasma | 4 |
| 2.1.9. Morfortipos | 4 |
| 2.1.10. Variedad | 5 |
| 2.1.11. Variedades de papa | 5 |
| 2.2 El cultivo de papa en el Perú y en Huánuco | 5 |
| 2.3 Papas nativas | 6 |
| 2.3.1. Importancia ambiental de las papas nativas | 7 |
| 2.3.2. Importancia social de las papas nativas del Perú | 7 |
| 2.3.3. Importancia económica de las papas nativas | 8 |
| 2.4 Características de los tubérculos de papa | 9 |
| 2.5 Materia seca del tubérculo de papa | 10 |
| 2.5.1 Distribución de materia seca | 11 |
| 2.5.2 Materia seca en tubérculos de papas nativas | 12 |
| 2.6 Composición mineral del tubérculo de papa | 14 |
| III. METODOLOGÍA | 19 |
| 3.1 Material vegetal | 19 |
| 3.1.1. Procedencia de los tubérculos en estudio | 19 |
| 3.1.2. El suelo del campo de procedencia de las accesiones en estudio | 20 |
| 3.1.3. El clima durante el ciclo de crecimiento de los morfortipos en estudio | 23 |
| 3.2 Procesos | 25 |
| 3.3 Métodos | 25 |
| 3.3.1 Lavado y desinfección del material | 25 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 3.3.2 | Caracterización de tubérculos | 26 |
| 3.3.3 | Determinación de materia seca | 27 |
| 3.3.4 | Determinación de elementos minerales | 28 |
| 3.4 | Análisis estadístico | 33 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 35 |
| 4.1 | Contenido de materia seca en tubérculos de papa nativa cultivadas en la región Huánuco | 35 |
| 4.2 | Relación entre los caracteres fenotípicos y el contenido de materia seca de los tubérculos | 39 |
| 4.3 | Elementos minerales contenidos en la materia seca de los tubérculos | 42 |
| 4.2.1 | Macroelementos minerales primarios: | 44 |
| 4.2.2 | Macroelementos secundarios: | 47 |
| 4.2.3 | Elementos minerales B, Cu, Na y Zn | 49 |
| 4.4 | Relación entre los caracteres morfológicos de los tubérculos y la materia seca | 52 |
| 4.5 | Relación entre materia seca y elementos minerales del tubérculo | 59 |
| V. | CONCLUSIONES | 62 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 63 |
| VII. | BIBLIOGRAFÍA | 64 |
| VIII. | ANEXOS | 81 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Minerales y elementos traza contenidos en tubérculos de papa (mg/100 g de peso fresco) | 15 |
| Tabla 2: Análisis de fertilidad, caracterización y elementos para el suelo donde fueron cultivados los morfotipos | 20 |
| Tabla 3: Descriptores empleados en la caracterización del color de piel, forma y color de pulpa de los morfotipos en estudio | 26 |
| Tabla 4. Características de los agrupamientos de tubérculos utilizados en el estudio de materia seca | 37 |
| Tabla 5. Morfotipos con muy bajo contenido de materia seca | 37 |
| Tabla 6. Morfotipos con muy alto contenido de materia seca | 38 |
| Tabla 7. Contenido de materia seca según el color de piel de tubérculo | 39 |
| Tabla 8. Contenido de materia seca según el color de pulpa del tubérculo | 40 |
| Tabla 9. Contenido de materia seca según la forma de tubérculo | 40 |
| Tabla 10. Morfotipos con pulpa y cáscara amarilla con los mayores | 42 |
| Tabla 11. Comparación de los contenidos de minerales de 100 morfotipos de Huánuco con lo reportado en el perfil alimentario del USDA (2019) | 42 |
| Tabla 12. Contenido promedio de minerales en los morfotipos agrupados de acuerdo con el color de piel | 52 |
| Tabla 13. Contenido de elementos en los tres grupos de colores de pulpa diferentes en los tubérculos | 53 |
| Tabla 14. Contenido de elementos en los tres grupos de forma diferentes en los tubérculos | 53 |
| Tabla 15. Promedio de elementos minerales según contenido de materia seca | 60 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Partes internas y externas del tubérculo de papa..... | 10 |
| Figura 2. Temperatura y humedad relativa registrados en la Estación Convencional Canchan del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, Región Huánuco (enero 2019 – agosto 2020) | 23 |
| Figura 3. Datos ambientales predictivos del Distrito de Yacus..... | 24 |
| Figura 4. Secuencia de principales labores realizadas durante la investigación | 25 |
| Figura 5. Secuencia de procedimiento en la detección de materia seca | 28 |
| Figura 6. Procedimiento de digestión húmeda de los tubérculos | 33 |
| Figura 7. Histograma del contenido de materia seca promedio en los tubérculos de morfotipos de papa nativa..... | 35 |
| Figura 8. Diagrama de árbol de la materia seca con caracteres fenotípicos de los tubérculos | 41 |
| Figura 9. Sistema subterráneo de la planta de papa..... | 44 |
| Figura 10. Cantidad de macroelementos minerales primarios en los tubérculos de los morfotipos de papas nativas | 45 |
| Figura 11. Cantidad de macroelementos secundarios en los tubérculos de los morfotipos de papas nativas | 47 |
| Figura 12. Cantidad de B, Cu, Na y Zn en los tubérculos de los morfotipos de papas nativas..... | 49 |
| Figura 13. Modelo predictivo de la relación entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de nitrógeno..... | 54 |
| Figura 14. Modelo predictivo de la relación entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de fósforo..... | 55 |
| Figura 15. Modelo predictivo de la relación entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de potasio..... | 55 |
| Figura 16. Modelo predictivo de la relación entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de calcio..... | 56 |
| Figura 17. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de magnesio | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 18. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de sodio | 57 |
| Figura 19. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de azufre..... | 57 |
| Figura 20. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de boro | 58 |
| Figura 21. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de cobre..... | 58 |
| Figura 22. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de los tubérculos y el contenido de zinc | 59 |
| Figura 23. Correlación del contenido de elementos minerales y el contenido de materia seca de los tubérculos | 61 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Descriptores morfológicos de los tubérculos..... | 81 |
| Anexo 2. Caracteres fenotípicos de los tubérculos..... | 82 |
| Anexo 3. Datos de materia seca..... | 84 |
| Anexo 4. Datos de macronutrientes y micronutrientes..... | 84 |

RESUMEN

La presente investigación se realizó durante el periodo 2020-2021 con tubérculos de 305 morfotipos de papas nativas del Banco de Germoplasma Regional (BGR) de Huánuco y cosechados en la campaña 2019-2020 en la Comunidad Campesina Rayancancho. El propósito de este estudio es contribuir al conocimiento de la composición química de la materia seca en tubérculos de papa nativa. Se determinó el contenido de materia seca y 11 minerales, así como su relación con las características fenotípicas de los tubérculos. Los datos obtenidos se evaluaron mediante análisis univariado, predictivo y bivariado. Los resultados muestran que el contenido de materia seca en los tubérculos registró un rango de 14.78 a 33.50 %. El rango de concentración de Mg (0.04-0.80 %), B (4.67-107.15 ppm), Cu (0.01-51.22 ppm) y Zn (0.05-77.28 ppm) fue superior a lo reportado en otros estudios. Los tubérculos con piel y pulpa amarilla tendrían mayor posibilidad de registrar los valores más altos de materia seca. Las características fenotípicas no fueron importantes en la predicción de elementos minerales. Existe una leve correlación entre la concentración de elementos minerales y el contenido de materia seca. Con base en el presente estudio, se puede concluir que los tubérculos de los morfotipos investigados tienen materia seca similar a lo reportado en otras localidades del Perú, algunos tienen una calidad excelente y aceptable por lo que se puede resaltar su valor culinario. Además, se registró una amplia variación en los contenidos de microelementos y del Mg los cuales demandan oportunidades de estudio. El modelo de predicción indica que los caracteres fenotípicos son importantes para predecir el contenido de materia seca, pero no para predecir el contenido de los elementos minerales. No existe una relación importante entre los elementos minerales y la materia seca.

Palabras Clave: Banco de Germoplasma, apariencia de tubérculo, calidad nutritiva, relación.

ABSTRACT

The present investigation was carried out during the 2020-2021 period with tubers of 305 morphotypes of native potatoes 2019-2020 campaign and cultivated in the Rayancancha Peasant Community from a Regional Germplasm Bank (BGR) of Huánuco. The aim of this study is to contribute to the knowledge of the dry matter chemical composition in native potato tubers. The dry matter and 11 minerals content as well as their relationship with the phenotypic characteristics of the tubers grown in Rayancancha were determined. The data obtained were evaluated using univariate, bivariate and predictive analysis. The results show that dry matter content in tubers registered a range of 14.78 to 33.50 %. The range of Mg (0.04-0.80 %), B (4.67-107.15 ppm), Cu (0.01-51.22 ppm) and Zn (0.05-77.28 ppm) concentration was higher than those reported in other studies. Tubers with yellow flesh and skin would have a greater possibility of registering the highest dry matter values. Phenotypic characteristics were not important in predicting mineral elements. Cu, Na and K content were important to estimate DM values. Based on the present study, it can be concluded that investigated tuber morphotypes have similar dry matter as other locations in Perú, some have excellent and acceptable quality which might be highlighted its culinary value. Furthermore, a wide variation in the microelements and Mg were registered which demanded opportunities of studies. The prediction model indicates that phenotypic characters are important to predict the dry matter content, but not to predict mineral elements. Do not exist an important relation between mineral elements and DM.

Key words: Germoplasm Bank, tuber appearance, nutritional quality, relationship

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los usuarios finales de papa seleccionan visualmente los tubérculos y consideran el tamaño, forma y color que antes de adquirirlos (Ekin, 2011). Por otro lado, la pandemia del COVID-19 aumentó el interés de los consumidores debido a las tendencias del mercado de alimentos saludables (Pino y Vergara, 2021). Sin embargo, algunos desafíos de las partes interesadas deben mejorarse a través de la investigación para responder a esas necesidades (Devaux et al., 2021).

El potencial de los tubérculos para responder a los desafíos de la seguridad alimentaria en los países en desarrollo se ve reforzado por el conocimiento de su composición en nutrientes (Devaux et al., 2021). Su investigación es necesaria para su uso en programas de mejoramiento de la calidad comercial de la papa (Pino y Vergara, 2021). Además, es necesario reconocer que los contenidos de materia seca y minerales están influenciados por factores genéticos y ambientales (Wolfe, 1987).

La papa nativa peruana se cultiva tradicionalmente en pequeñas parcelas familiares y a más de 3500 metros sobre el nivel del mar (Horton y Samanamud, 2017). A lo largo de los años se ha descrito su importancia (Egúsquiza, 2014; Devaux et al., 2010) y se han reconocido las amenazas a su conservación y sostenibilidad (Engels y Visser, 2007). De igual manera, se han desarrollado varios proyectos para transformar la papa nativa en un medio de desarrollo rural altoandino (Horton y Samanamud, 2017; Fano, et al., 2011).

Las experiencias en torno a su cadena de valor y la perspectiva de mercado en la investigación de cultivos permiten que los pequeños productores de papa se vinculen a los mercados internos (Devaux et al., 2021) y a los consumidores urbanos. La experiencia peruana apunta a la revalorización de la biodiversidad de papas nativas. Los nuevos conocimientos permiten desarrollar productos novedosos para el mercado de papas nativas. En el caso de Lima, la innovación creó un nuevo concepto comercial de las papas nativas que se valoran por su forma, color, sabor, textura y fácil preparación (Fano et al., 2011).

La región Huánuco es el segundo productor de papa del Perú y abastece los mercados de Lima y la selva Central (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2017). Las accesiones del Banco de Germoplasma Regional de Huánuco fueron previamente caracterizadas por su morfología (Egúsqüiza, 2015; De la Cruz, 2021). Además, se determinó las relaciones entre caracteres fenotípicos con la pérdida de peso de los tubérculos durante la poscosecha (Landivar, 2022).

Por lo expuesto, para apoyar el desarrollo de su cadena de valor y su conservación, el presente estudio realizado con papas nativas cultivadas en Huánuco, se plantea alcanzar los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Contribuir con el conocimiento de la composición química de la materia seca en tubérculos de papas nativas.

Objetivos específicos:

- Cuantificar el contenido de materia seca en tubérculos de papas nativas cultivadas en la Región de Huánuco.
- Evaluar la relación entre el contenido de materia seca con los caracteres fenotípicos de sus tubérculos.
- Determinar la cantidad de elementos minerales contenidos en la materia seca de los tubérculos de una muestra de accesiones del Banco de Germoplasma Regional de Huánuco.
- Evaluar la relación entre el contenido de elementos minerales con los caracteres fenotípicos de sus tubérculos.
- Evaluar la relación entre el contenido de materia seca con el contenido de elementos minerales de sus tubérculos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco conceptual

Las investigaciones que se realizan con recursos genéticos vegetales hacen uso de diferentes términos botánico – taxonómicos para hacer referencia a las unidades experimentales bajo estudio los cuales, además, pueden ser diferentes de acuerdo con las especies tratadas. Los términos empleados en la presente investigación se adoptaron de acuerdo con los siguientes significados:

2.1.1. Accesoión

Unidad de conservación en un banco de germoplasma que comprende semillas o plantas identificadas con un código alfanumérico distinto del resto (García, 2008).

2.1.2. Agrobiodiversidad

Hace referencia a las plantas y animales que da sostén a los sistemas agrícolas (Biodiversity International, 2009). Sarandón (2009) señala que, la diversidad agrícola involucra las variedades y la variabilidad de especies que dan soporte a los ecosistemas agrarios.

2.1.3. Bancos de Germoplasma

Instituciones que conservan semillas de la diversidad de los cultivos y sus parientes silvestres para su disponibilidad de agricultores y para investigación (Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], 2019).

2.1.4. Cultivar

Es el conjunto de plantas cuyas características son iguales entre sí y forman parte de una variedad (Egúsquiza, 2014). Según Camarena et al. (2012) el término deriva de la contracción de dos palabras inglesas *cultivated variety*, se usa como sinónimo de variedad.

2.1.5. Clon

Es un conjunto de plantas genéticamente idénticas (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria [INIEA], 2006) y propagadas asexualmente a partir de un solo progenitor (Camarena et al., 2012).

2.1.6. Descriptores morfológicos

Son códigos numéricos que se asigna a los diferentes estados de caracteres morfológicos generalmente estables (INIEA, 2006). La caracterización morfológica de una colección es útil para describir cada entrada. Asimismo, para identificar duplicados que se registran al mismo tiempo, bajo las mismas condiciones y en la estación climática más favorable para su desarrollo (Dionisio, 2018).

2.1.7. Ecotipos

Poblaciones de plantas de especies *silvestres adaptadas* a una determinada zona geográfica. Tales como los ecotipos Norte y Sur de una misma especie que, por ser cultivados en dos lugares distintos, expresa tamaño, periodo vegetativo y crecimiento diferentes (Camarena et al., 2012).

2.1.8. Germoplasma

Es el conjunto del material hereditario (banco genético) de una o varias especies, así como de poblaciones y grupos (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2015). También es conocido como el conjunto de muestras de semillas vegetales (INIEA, 2006).

2.1.9. Morfotipos

Son plantas de reproducción vegetativa que poseen características *fenotípicas* iguales, pero no necesariamente la misma constitución genética. Se agrupan como unidades taxonómicas de acuerdo con los caracteres morfológicos visibles o estables, y no de acuerdo con caracteres influenciados por el ambiente (Camarena et al., 2012; INIEA, 2006).

2.1.10. Variedad

Es el conjunto de plantas con características botánicas y agronómicas semejantes y a los cuales se le asigna un código o nombre para diferenciarla de otras (Programa de Desarrollo Económico Sostenible y Gestión Estratégica de los Recursos Naturales en las regiones de Ayacucho, Apurímac, Huancavelica, Junín y Pasco [PRODERN], 2018).

2.1.11. Variedades de papa

Egúsquiza (2014) indica que son plantas denominadas con un nombre determinado, distinguibles por diferentes características botánicas, agronómicas y de uso. También, se les identifica con los términos de clon, cultivar o híbrido. Indica que las variedades de papa cultivadas son nativas y modernas de acuerdo con su origen. Las variedades nativas son aquellas desarrolladas por métodos campesinos de selección clonal. Mientras que las modernas son aquellas desarrolladas mediante métodos modernos de mejoramiento genético.

Cabrera y Escobal (2002) definen a las variedades mejoradas como el producto final del cruzamiento entre dos o más especies, o entre dos o más variedades nativas y que responde a una problemática. Por su parte, Horton y Samanamud (2017) indican que son producto de programas de mejoramiento del cultivo, con características particulares como mayores cosechas y resistencia a plagas. El MINAGRI e Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA] (2019) agregan que las variedades modernas se desarrollan para atender nuevas necesidades de los usuarios.

2.2 El cultivo de papa en el Perú y en Huánuco

En el país, la papa es un cultivo de gran importancia en la seguridad alimentaria, lucha en la pobreza rural, desarrollo agrícola e industrial del país (Bernet et al., 2008). Se cultiva en la mayoría de los pisos ecológicos en 19 de las 25 regiones, posee ocho especies cultivadas y tiene más de 3,800 variedades (Proexpansión, 2011). Asimismo, es el principal cultivo de la agricultura familiar dentro de los ecosistemas andino por su adaptación a condiciones climáticas desfavorables (MINAGRI y Sierra y Selva Exportadora, 2020).

En la campaña agrícola 2018 - 2019 ocupó 339,6 mil hectáreas y los datos de superficie cosechada, producción y rendimiento del año 2019 fue de 331.1 mil hectáreas, 5.3 millones de toneladas y rendimiento promedio de 16.2 kg/ha (Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias [SIEA], 2019).

De acuerdo con las estadísticas agrarias (SIEA, 2019) la papa cultivada en la región Huánuco se posiciona como la *segunda* tanto en superficie cosechada (43,288 hectáreas) como en producción (716,568 toneladas). Su producción abastece a los mercados de Lima y de la Selva Central del país (MINAGRI, 2017).

Por otro lado, Empresa Municipal de Mercados S.A. (EMMSA, 2021) indica que, en el último trimestre del año 2020, Huánuco fue la segunda región con mayor aporte de este tubérculo al Gran Mercado Mayorista de Lima (28.5%). El MINAGRI (2018) la considera como una región donde las siembras de papa estarían en aumento gracias al apoyo de los programas de fondos concursables (Plataforma Digital Única del Estado Peruano, 2021).

2.3 Papas nativas

El Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata (2008), indica que las papas nativas pertenecen a diferentes especies del género *Solanum*, Sección *Petota*, en cuya amplia variabilidad y diversidad se encuentran caracteres favorables como resistencias bióticas, abióticas y genes de calidad (nutritiva, culinaria y procesamiento). Del mismo modo, el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) agrega que los sistemas agrícolas de los Andes mantienen la diversidad de las variedades locales, y generan adaptaciones genéticas de pequeña escala a través de la polinización cruzada (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2008).

Las variedades nativas de papa son tradicionalmente cultivadas sobre los 3,500 msnm en pequeñas parcelas por familias altoandinas (Horton y Samanamud, 2017), mezcladas para reducir el efecto adverso de plagas y el medio ambiente. Aunque, para fines comerciales aquellas con buena calidad culinaria (harinosa) y las empleadas para elaborar chuño o moraya (papas amargas), se siembran individualmente (MINAGRI e INIA, 2019).

Por otro lado, se reconoce a la erosión genética y al cambio climático como amenazas para la diversidad de las papas nativas y sus parientes silvestres (Engels y Visser, 2007). Frente a estas amenazas, el 2004 entró en vigencia el Tratado Internacional sobre los Recursos Filogenéticos para la Alimentación y la Agricultura cuyo objetivo es la conservación, uso sostenible de la biodiversidad y distribución equitativa de los beneficios que se obtiene por su utilización. En el Perú el Banco de germoplasma de papa del Centro Internacional de la Papa (CIP), considerado el más grande del mundo, custodia alrededor de 100 especies silvestres y unas 3800 variedades nativas cultivadas en los andes (FAO, 2008).

2.3.1. Importancia ambiental de las papas nativas

Desde el punto de vista ambiental, se siembran en temporada de lluvias, en terrenos que han descansado por lo menos cinco años, se abonan con guano y muy pocas veces se utilizan insumos de síntesis química (Edelnor, 2008). Además, en las comunidades campesinas, se siembran mezcladas por ser una excelente manera de reducir el daño por plagas y factores ambientales adversos (PRODERN, 2018). También, es el cultivo con menor huella hídrica comparado con cualquier otro de importancia, por presentar una eficiencia hídrica siete veces mayor que los cereales (CIP, 2017).

2.3.2. Importancia social de las papas nativas del Perú

Desde el punto de vista social, las papas dentro del ecosistema donde se cultiva forman parte de las culturas locales en las que se les conoce como “papas de color” por el color intenso presente en su cáscara y “papa de regalo” por el mayor contenido de materia seca respecto a las variedades modernas (Egúsquiza, 2014). Además, tienen usos diversos en la medicina, rituales y decoración en ferias (PRODERN, 2018).

Además, la papa al ser un componente importante de la dieta de las familias de los sistemas de producción andinos contribuye en la disminución de la desnutrición junto con otros productos agrícolas y ganaderos locales mediante posibles estrategias como la diversificación de alimentos, la selección de germoplasma local con alto contenido de minerales como hierro y zinc y el mayor conocimiento nutricional de los mismos (Devaux et al., 2010).

Durante los años 2001 a 2010, el Proyecto INCOPA ha promovido el cultivo y uso de papas nativas a través de alianzas público-privadas las cuales han buscado innovaciones en la

producción y comercialización, así como en la mejora de competitividad en su cadena para beneficio de los pequeños agricultores dedicados a este cultivo (CIP, 2018; Horton y Samanamud, 2017). Además, Centros de Investigación como el CIP y Organizaciones no Gubernamentales, desarrollan proyectos en lugares donde los índices de desnutrición crónica en niños menores de cinco años son altos para la identificación de papas nativas con altos contenidos de macro y micronutrientes, así como presencia de antioxidantes para contribuir a la seguridad alimentaria, nutrición y generación de ingresos para los pequeños productores (CIP, 2012).

2.3.3. Importancia económica de las papas nativas

De acuerdo con los registros del EMMSA (2022) se considera que la papa es el producto con mayor volumen de ingreso al Gran Mercado Mayorista de Lima. Además, se indica que el 80,6 por ciento de la papa ingresada al mercado mayorista en el 2016 fue de textura “blanca”, el 12 por ciento corresponde a las papas de textura “de color” y el 7 por ciento corresponde a las papas de textura “amarilla”. Al referirse a los precios, indica que las variedades blancas son las de menor valor de compra comparadas con las de color y que las amarillas son las más caras (MINAGRI, 2017).

Años atrás, los productores destinaban las papas nativas al autoconsumo; en la actualidad, debido a la mayor difusión de se ha incrementado la demanda y ventas en los mercados de Lima (PROEXPANSIÓN, 2011) y su creciente incorporación en la Gastronomía Gourmet como parte de los *ingredientes* en una variada presentación de piqueos, entradas, fondos y postres (CEDINCO; Instituto Continental, 2012).

Además, el desarrollo del mercado ha permitido que empresas puedan ofertar productos *transformados* de papas nativas al extranjero. Por un lado, Inka Crops, ha logrado posicionar el snack de papa nativa en muchos mercados del mundo, siendo Estados Unidos el principal comprador y cuenta con un 23% de participación del total de exportaciones de snacks. Por el otro, La Cooperativa Agraria Agropía Ltda., comercializa chips orgánicos de papas nativas hacia el mercado europeo y especialmente a Francia, cuenta con una participación de casi 11% del total de las exportaciones de snacks (MINAGRI y Sierra y Selva Exportadora, 2020).

El crecimiento se explica principalmente por la diversidad de usos en la gastronomía peruana, y la tendencia e interés al consumo de productos andinos cultivados por

comunidades campesinas, ecológicos, saludables, frescos y transformados aun cuando la oferta es limitada (PRODERN, 2018). EDELNOR (2008) agrega como ventajas culinarias de las papas nativas el menor requerimiento de agua, tiempo de cocción y combustible con respecto a las variedades modernas o blancas.

La limitada oferta se debe a la lejanía de los centros de producción con los importantes centros de consumo del país y la ausencia o mal estado de las vías de comunicación que disminuye su capacidad para negociar (PRODERN, 2018; Devaux et al., 2010), así como los niveles bajos de producción, productividad y pobreza rural. Además, las experiencias de transformación en diferentes formas (puré de papa amarilla, hojuelas de papa nativa y crema de piel a base de papa) todavía son incipientes y no se convierten en demandas significativas (PRODERN, 2018).

Por ello, la articulación comercial a través de mejores infraestructuras, el acceso a un lugar de venta, la difusión de los beneficios culinarios e investigación permitiría mejorar la calidad de vida de los productores al aprovechar los mercados existentes, conservar uno de los principales patrimonios del país e investigar las cualidades de las papas más allá de sus características culinarias lo que ayudaría a incursionar en nuevos mercados dando importantes razones para mantener la conservación *in situ* (PRODERN, 2018).

Adicionalmente, para potenciar el mercado de papas nativas, el Análisis de Mercado de Papa elaborado por MINAGRI y Sierra y Selva Exportadora (2020), propone la promoción de estrategias de política pública/privada para desarrollar la industria nacional en torno a la papa nativa, el cual permita *diferenciarnos* respecto a la industria mundial que se caracterizan por su alto rendimiento. De igual manera, indica que se debe reconocer que no todas las variedades tienen las mismas posibilidades de mercado.

2.4 Características de los tubérculos de papa

El tubérculo de papa es un tallo subterráneo de apariencia carnosa, corta y engrosada que se encuentra en el extremo del estolón (Cabrera y Escobal, 2002). Sus entrenudos son fuertemente comprimidos debido a la expansión lateral de la porción subapical del estolón en el que se origina y con tejido interior especializado en el almacenamiento de sustancias de reserva de alto valor nutricional (Egúsquiza, 2014). Destaca por ser considerado fuente de antioxidantes y minerales para la dieta humana (Andre et al, 2007).

De acuerdo con Woolfe (1987) y Egúsqüiza (2014) los elementos morfológicos externos del tubérculo de papa son los ojos, brotes, lenticelas y peridermo. Los *ojos* son cavidades dispuestas en espiral que poseen hojas rudimentales y yemas axilares en la base (equivalentes a las axilas del tallo aéreo). El *brote* es un tallo proveniente de la yema principal del ojo del tubérculo. Las *lenticelas* son los poros respiratorios en el tubérculo de papa. El *peridermo*, comúnmente llamado cascara o piel, es la capa corchosa externa que recubre al tubérculo.

Los elementos internos del tubérculo son la *corteza* y el *anillo vascular*. La corteza es la región interna inmediatamente debajo del peridermo (Rastovski et al, 1981) y se divide en dos partes: la corteza propiamente dicha y el parénquima de almacenamiento. La primera, es la parte que se encuentra junto a la piel. La segunda, es una capa ubicada entre la corteza propiamente dicha y el anillo vascular. El *anillo vascular* es un tejido compuesto por la médula exterior, y la médula interna (médula). Ambas médulas se diferencian porque la interna es la parte más traslúcida y húmeda del centro (Woolfe,1987).

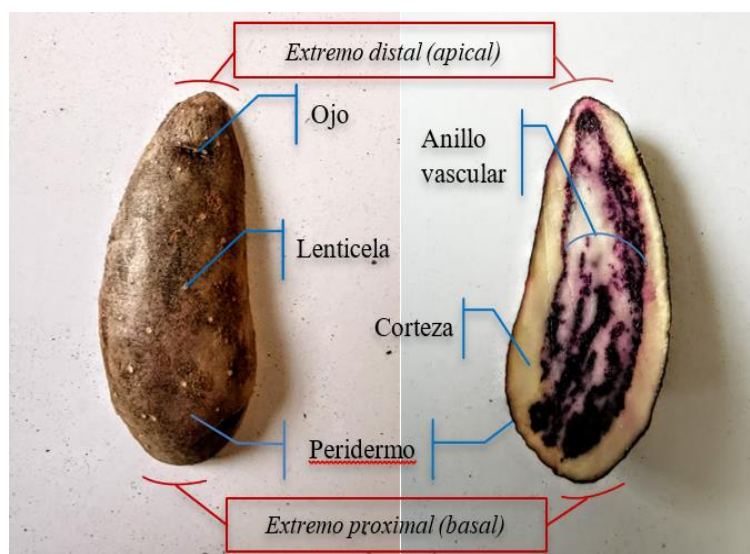


Figura 1. Partes internas y externas del tubérculo de papa

2.5 Materia seca del tubérculo de papa

La materia seca es el contenido de sólidos en un tubérculo (Douches y Jastrzebski, 1993) y el indicador más importante para el rendimiento total, pues indica la eficiencia de asimilación de la translocación en tubérculos (Jovanovic et al., 2010, como se citó en Hill et al., 2021). Existe una variación genética entre especies y su herencia está gobernada por varios genes (Douches y Jastrzebski, 1993).

Blumenthal et al. (2008, como se citó en Giletto et al., 2013), explican que el elevado contenido de materia seca en los tubérculos influye directamente en la textura y apariencia del producto crudo. También, es responsable por la aptitud de uso en variedades de papa junto con los azúcares reductores (glucosa y fructosa). Puesto que, a mayor harinosidad del tubérculo, la absorción de aceite durante la fritura disminuye. Este es un atributo por el cual los materiales pueden ser seleccionados en programas de mejora genética y desarrollo varietal (INIA, 2003).

Burton (1966, como se citó en Woolfe, 1987) y Grison (1973, como se citó en Woolfe, 1987), indican que los factores que influyen en el contenido de materia seca son la variedad, prácticas culturales, clima, duración del crecimiento, tipo de suelo y plagas. Rastovski et al. (1981), añade a la madurez del tubérculo, la fertilización nitrogenada y potásica como otras condiciones que influyen en el contenido de materia seca.

2.5.1 Distribución de materia seca

Existen diferencias en el contenido de materia seca dentro y entre tubérculos de una misma planta de papa (Burton, 1966; Ifenkwe, 1974; Cole, 1975, como se citó en Rastovski et al., 1981).

Dentro del tubérculo el contenido aumenta desde la periferia hacia el tejido cortical interno y la médula exterior, a partir de este, disminuye hacia el centro. Es decir, la mayor parte de materia seca se encuentra en el parénquima de almacenamiento. Asimismo, existe una disminución de materia seca desde el talón, donde el porcentaje es mayor, hacia el ápice (Burton, 1966, como se citó en Woolfe, 1987).

Entre tubérculos de la misma planta, las diferencias de materia seca dependen de la variedad y localidad (clima, tipo de suelo y aplicación de fertilizantes al suelo). Los factores climáticos (sequías, heladas y granizadas) afectan el follaje influyendo en el rendimiento y la calidad de los tubérculos debido a que se interrumpe el proceso de fotosíntesis y la síntesis de almidón (Vázquez et al., 2013, como se citó en Vázquez et al., 2016). Además, Álvarez y Canet (2009, como se citó en Vázquez et al., 2016) sostienen que las bajas temperaturas hacen posible una mayor acumulación de carbohidratos en los tubérculos, debido a que la tasa de respiración es menor.

Dependiendo del tiempo en que se desarrollen los tubérculos, el contenido de materia seca será diferente. En el caso de aquellos cuyo desarrollo es más temprano, la acumulación de materia seca es mayor. Caso contrario, se da en los últimos tubérculos en formación, en los cuales la materia seca puede reabsorberse. Esto beneficia a los tubérculos más grandes (Rastovski et al., 1981).

2.5.2 Materia seca en tubérculos de papas nativas

En el Perú, podemos encontrar variedades de papa nativa producidas en zonas con pisos altitudinales elevados que contienen hasta 35 por ciento de materia seca (Egúsqüiza, 2014). Por ejemplo, una variedad de mayor difusión como la Huayro presenta entre 32 a 34 por ciento; entre las variedades amarillas, la Peruanita contiene de 32 a 34 por ciento y la Huamantanga contiene de 28 a 32 por ciento (Torres y Aliaga, 2020).

En el norte del Perú, Rojas y Seminario (2014) estudiaron diez cultivares de papa chaucha del grupo Phureja producidos en la región Cajamarca (2670 m.s.n.m.), encontraron un promedio general de 23,5 por ciento de materia seca: el cultivar 'Montañera 2' presentó el menor contenido (24 por ciento) y el cultivar 'Huagalina' mostró el mayor contenido (28 por ciento). Posteriormente, Seminario et al. (2017), estudiaron diecisiete cultivares del mismo grupo Phureja y encontraron un promedio general de 22.1 por ciento. La 'Huagalina' fue la de menor contenido de materia seca con 18 por ciento mientras que 'Bola de Potro' fue la de mayor contenido con 25 por ciento.

CIP, Asociación Pataz e INIA (2015), caracterizaron 129 muestras de papas nativas del distrito de Chugay, Provincia de Sánchez Carrión, La Libertad. El contenido de materia seca entre muestras varió desde 16.7 a 34.4 por ciento: la variedad Manzana fue la de menor porcentaje de materia seca y Almidona fue la de mayor porcentaje. Ramírez (2015), estudió tres variedades del mismo distrito de Chugay; los contenidos promedio de materia seca de las variedades 'Llampiña', 'Casco de mula' y 'Yamelina negra' fueron 28.32; 30.02 y de 27.50 por ciento de materia seca, respectivamente.

Determinaciones del contenido de materia seca en variedades del centro del Perú son las que realizaron Obregón y Repo (2013) en cuatro variedades nativas procedentes de Huancayo, Junín, con el objetivo de determinar las características fisicoquímicas y bromatológicas. Con respecto a los resultados de materia seca de los tubérculos evaluados, determinaron que las variedades 'peruanita' y 'amarilla runtus' mostraron 27.90 y 31.80 por ciento y, por otro

lado, las variedades ‘huamantanga’ y ‘huayro’ presentaron 22.98 y 24.60 por ciento de materia seca.

Por otra parte, Fonseca et al (2014), realizaron descripciones morfológicas, nutricionales (tubérculo crudo y cocido) e información genética de 24 variedades de papa nativa cultivadas por cinco familias de agricultores de Apurímac y Huancavelica. En Apurímac, la variedad Qequrani registró un mayor contenido de materia seca (35.16 por ciento) y la variedad Azul Sunqu registró solamente 22.20 por ciento. En Huancavelica, la variedad Wawa Suytu registró 30.41 por ciento y Yurac Piña registró el menor contenido de materia seca (21.88 por ciento).

Riveros y Peralta (2015), en doce cultivares nativos procedentes en diferentes lugares de las Regiones de Junín y Huancavelica. Encontraron una variación general de materia seca en los tubérculos en el rango de 22 a 38 por ciento; por un lado, el cultivar Capcash registró el mayor contenido de materia seca (33 a 38 %) y, por otro lado, Moq’o Pumamaki registró el menor contenido de materia seca (22 a 27 %).

Egúsquiza y Egúsquiza (2011), evaluaron el contenido de materia seca y la aptitud de fritura de papas nativas con pulpa pigmentada de 54 variedades nativas cosechadas en Huánuco. La variedad ‘Condor Huarmi’ presentó contenido promedio de 22.30 por ciento y Auquin Juytu Yuracc Ñahui presentó 35.10 por ciento de materia seca. Posteriormente, Egúsquiza et al. (2012), estudiaron efectos ambientales en la calidad de tubérculos de la papa nativa ‘Amarilla Tumbay’ procedentes de 16 distritos de las provincias de Ambo, Huánuco y Pachitea; el 50 por ciento de las muestras evaluadas presentaron 25.0 a 30.0 por ciento de materia seca; el contenido promedio general fue de 28.30 por ciento con un rango máximo y mínimo de 37.00 y 20.30 por ciento, respectivamente.

En recientes evaluaciones realizadas en el sur del Perú, Chirinos (2016), evaluó 70 cultivares de papas nativas de la Comunidad de Taucra (Cuzco) para clasificarlos por sus cualidades o características fisicoquímicas u organolépticas. En cuanto al contenido de materia seca y almidón, encontró que el cultivar Wayro warmi presentó un máximo de 28.70% de materia seca y 69.43% de almidón.

2.6 Composición mineral del tubérculo de papa

Las cenizas son la fracción en la que se encuentra el contenido de minerales presentes en el tubérculo, el cual constituye el 4 a 6 por ciento de la materia seca. La mayoría de los minerales forma parte de diferentes compuestos químicos orgánicos mientras algunas están presentes como iones disueltos en el líquido vacuolar (Burton, 1966, como se citó en Rastovski et al., 1981). Woolfe (1987) señala que algunos minerales cumplen funciones biológicas en la planta y otros están presentes por haberse absorbido desde la solución suelo, o por aplicación de fertilizantes o de aspersiones al follaje. Además, indica que los tubérculos son ricos en potasio y fósforo, pero pobres en sodio y calcio. Siempre presenta hierro, magnesio, zinc, manganeso, azufre y cloro al igual que trazas de boro, cobre, yodo, bromo, aluminio, arsénico, molibdeno, cobalto y níquel.

Los contenidos de minerales en los tejidos vegetales son variables (Pérez, 2017). Están controlados principalmente por factores genéticos y ambientales. Así como, su composición química y valor nutricional pueden ser afectadas por la cocción y el almacenamiento (Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata, 2008). El genotipo establece los límites del potencial fisiológico y metabólico de cada individuo (Munson, y Nelson, 1990). Mientras que el ambiente implica efectos de la localidad, clima, suelo, agua, prácticas culturales y madurez (Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata, 2008). White et al. (2009) consideran que la biodisponibilidad de los nutrientes del suelo es el factor más importante. Adicionalmente, Wierzbowska et al. (2016) menciona que las condiciones durante el cultivo afectan el contenido de fósforo, potasio y magnesio.

La distribución espacial de los minerales en el tubérculo de papa no es uniforme. Por un lado, la mayoría de los elementos son más concentrados en la cáscara, tales como el fósforo, calcio y cobre que disminuyen desde el borde hacia el centro del tubérculo (Subramanian et al., 2011). Así cómo es posible que las cáscaras de los tubérculos color rojo y morado posean contenidos significativamente más altos de potasio, calcio, hierro y zinc en comparación con la pulpa de estos (Vaitkeviciene, 2019). Por otro lado, en el tubérculo fresco se encuentran más concentrados en la región del estolón; salvo el potasio, en el cual la concentración mayor se encuentra en el ápice (Subramanian et al., 2011).

Woolfe (1987) resume diferentes fuentes y presenta la siguiente tabla con los rangos de contenido de los diferentes minerales presentes en tubérculos de papa:

Tabla 1: Minerales y elementos traza contenidos en tubérculos de papa (mg/100 g de peso fresco)

| Elementos | Promedio (con cascara) | Promedio (sin cáscara) | Rango |
|------------------|------------------------|------------------------|---------------|
| Minerales | | | |
| Calcio | 6.5 | 5.5 | 1.7-1.8 |
| Magnesio | 20.9 | 18.6 | 10-29 |
| Fósforo | 47.9 | 44.0 | 27-89 |
| Potasio | 564.0 | 376.0 | 204.9-900.5 |
| Sodio | 7.7 | 6.6 | 2-66 |
| Elementos trazas | | | |
| Aluminio | 0.610 | - | 0.301-1.511 |
| Boro | 0.136 | - | 0.081-0.168 |
| Cromo | 0.023 | - | - |
| Cobalto | 0.065 | - | - |
| Cobre | 0.193 | 0.088 | 0.014-0.327 |
| Fluor | - | 0.11 | 0.02-0.38 |
| Yodo | 0.019 | - | 0.011-0.035 |
| Hierro | 0.740 | 0.403 | 0.13-2.311 |
| Manganeso | 0.253 | 0.14 | 0.072-0.699 |
| Molibdeno | 0.091 | 0.0036 | <0.011-0.186 |
| Niquel | - | - | 0.008-0.037 |
| Selenio | 0.006 | 0.0003 | <0.0002-0.029 |
| Zinc | 0.410 | 0.280 | 0.11-0.70 |

Fuente: Woolfe (1987)

Ortega (2014), evaluó el comportamiento agronómico de quince genotipos de papa (*Solanum tuberosum*), con altos contenidos de hierro y zinc, en dos localidades de la sierra ecuatoriana. En una localidad se obtuvo un promedio de materia seca de 23.92 por ciento y no se encontró diferencias estadísticas en el contenido de hierro (promedio general fue 72.45 ppm) y zinc (promedio general fue 21.31 ppm). En la segunda localidad, el promedio de materia seca fue del 21.75 por ciento, mientras que el contenido promedio general de hierro y zinc fue de 57.32 y 19.53 ppm.

En Brasil Leonel et al. (2017), determinaron la composición química de los tubérculos cosechados en suelos con baja, media y alta disponibilidad de fósforo. Demostraron que el contenido de materia seca del tubérculo se vio afectado por la disponibilidad del fósforo: el menor valor fue 11.89 por ciento en un suelo con 14 mg.dm^{-3} (disponibilidad de fósforo baja) y 21.83 por ciento en un suelo con 70 mg.dm^{-3} (disponibilidad de fósforo alto). Además, se evidenció que un aumento del fósforo disponible en el suelo provocó un aumento de este mineral, pues mostró los siguientes valores: 24.05, 30.95 y 35.27 mg/100 g de fósforo. Asimismo, se evidencia la importancia de la eficiencia de absorción de fósforo de los genotipos en suelos con mayor disponibilidad de este elemento.

Vaitkeviciene (2019), estudió seis cultivares de papas en Lituania con el objetivo de evaluar y comparar la composición proximal (materia seca, sólidos solubles totales, proteína, fibra y ceniza) y mineral (fósforo, calcio, magnesio, potasio, hierro, zinc, cobre, boro y manganeso) en la pulpa y cáscara de los tubérculos. Los resultados señalaron que las cáscaras de papa roja y morada investigadas poseen contenidos significativamente más altos en proteína, fibra, ceniza y elementos en comparación con la pulpa. En ambos tejidos el elemento predominante fue el potasio con un rango de 24.3 a 33.3 g/kg del peso seco de la cáscara (promedio 27.8 g/kg). Los cultivares de cáscara morada obtuvieron el mayor contenido con un rango desde 19.5 a 24.0 g/kg (promedio 21.1 g/kg) del peso seco de la pulpa. El contenido de fósforo presentó valores semejantes entre cáscara y pulpa, comprendió de 2.70 a 3.69 g/kg de materia seca de la pulpa y de 2.90 a 4.54 g/kg de materia seca de la cáscara. El contenido de calcio tuvo un rango de 0.16 a 0.36 g/kg de materia seca de la pulpa y 0.66 a 1.10 g/kg de materia seca de la cáscara. El contenido de magnesio fue similar para ambos tejidos. De los microelementos evaluados, el contenido de hierro fue mayor y el contenido presente en la cáscara superó al presente en la piel. El contenido promedio de zinc en cáscara fue 15.2 mg/kg de su materia seca y en carne fue menor a 14.5 mg/kg de su materia seca. El contenido de boro en pulpa obtuvo un rango de 6.05 a 11.1 mg/kg de su peso seco y en cáscara un rango de 9.20 a 11.2 mg/kg de su peso seco. El contenido de magnesio y cobre en ambos tejidos dependió significativamente del cultivar.

Entre las últimas investigaciones sobre el contenido de minerales realizadas en papas nativas se cita a las realizadas por Burgos et al. (2007), quienes determinaron el contenido de hierro (Fe) y Zinc (Zn) de 49 variedades de papa nativas cosechados en tres localidades de

Ayacucho y Huancavelica. Los contenidos de hierro entre localidades variaron en los rangos de 16.1 a 36.7 ppm, 13.6 a 29.4 ppm y 9.4 a 25.2 ppm del peso seco. De igual forma, los niveles de zinc registrados comprendieron los rangos de 8.3 a 14.7 ppm, 9.9 a 20.2 ppm y 9.5 a 14.8 ppm del peso seco.

Villacrés et al. (2009), evaluó 24 muestras de papas nativas de Ecuador, que registraron el mayor contenido de materia seca en ‘Coneja Blanca’ (27,32 por ciento). En cuanto a la caracterización química, el contenido de minerales en los materiales estudiados registró 60 ppm en hierro y 1.74 por ciento en potasio.

Monteros et al. (2010) determinaron el contenido promedio de potasio, hierro y zinc presentes en veintidós cultivares de papas nativas cultivadas en Ecuador. Los mayores valores promedio de potasio, hierro y zinc se presentaron en las variedades ‘Chaucha roja’ con 2.10 por ciento, ‘Coneja negra’ con 166 mg/kg y ‘Puña’ con 51 mg/kg respectivamente. Las variedades con menor contenido fueron ‘Coneja blanca’ con 1.52 por ciento, ‘Tushpa’ 26 mg/kg ‘Superchola’ con 8 ppm respectivamente.

Fonseca et al. (2014), presentan resultados del contenido de hierro y zinc en las variedades Qequrani, Azul sunqu, wawa suytu y Yurac piña cosechados en Apurímac; los contenidos de estos minerales fueron 1.77 y 0.84 mg/100 g en la primera variedad; 1.38 y 0.65 mg/100 g en la segunda, la tercera 2.19 y 1.32 mg/100 g y la cuarta 2.34 y 1.32 mg/100 g respectivamente.

Las determinaciones de minerales realizados en variedades nativas de Chugay (Pataz, La Libertad) por el Centro Internacional de la Papa (CIP) et al. (2015), reportaron mayores contenidos de hierro en las variedades Juanita (Grupo Chaucha), Panza de Oveja (Grupo Andígena) y Puñeta Colorada (Grupo Andígena) con valores de 62.5, 57.9 y 57.9 mg/100 g, respectivamente. De la misma forma, los mayores valores de zinc (0.416, 0.404 y 0.380 mg/100 g) se encontraron en las variedades Aceituna (Grupo Goniocalyx), Puñeta Colorada y Prueba Nuera (Grupo Chaucha). Por otro lado, los mayores valores de potasio se encontraron en las variedades Prueba Nuera, Lancetilla (Grupo Stenotomum) y Ojo de Muerto (Grupo Goniocalyx) con 583.4, 565.2 y 553.5 mg/100 g, respectivamente.

La amplia diversidad genética del cultivo puede significar una variabilidad en el contenido nutricional del órgano de almacenamiento (Andre et al., 2007). No obstante, las propiedades nutricionales de estas papas todavía son poco estudiadas y escasamente difundidas (Peceros,

2017). A pesar de que estos elementos tienen importancia por participar en el crecimiento de una planta y para el humano que basa su alimentación principalmente en este tubérculo (Subramanian et al., 2011).

III. METODOLOGÍA

El presente trabajo se elaboró bajo el planteamiento metodológico de *enfoque* cuantitativo, puesto que este se adapta a las características y necesidades de la investigación. Se realizó bajo un diseño *no experimental*, ya que las variables de estudio no se manipularon solo se analizaron, colectaron sus datos e interrelacionaron en un momento dado. Además, el alcance de la investigación (nivel) es de tipo *exploratorio*, por ser poco estudiado a nivel local.

La población de estudio conformado por los tubérculos de los morfotipos de un BGR, la muestra al azar de tubérculos para determinar la cantidad de minerales, la técnica de investigación, colección de datos y técnicas de análisis de datos se explican a continuación.

3.1 Material vegetal

En la presente investigación se emplearon tubérculos del Banco de Germoplasma Regional (BGR) que la Universidad Nacional Agraria mantiene en la Región Huánuco. Las determinaciones del contenido de materia seca se realizaron en 305 accesiones y las determinaciones del contenido de minerales en una muestra de 100 accesiones del BGR.

3.1.1. Procedencia de los tubérculos en estudio

Los tubérculos de papas nativas fueron cosechados en campo del agricultor Raymundo Palacios, líder de la Asociación de Productores “Pozo Pozo de Rayancancha” localizado en el Centro Poblado Rayancancha en el distrito de Yacus, provincia y Región Huánuco (latitud, 9° 56' 26" S; longitud, 76° 29' 30.9" W). Las accesiones empleadas fueron sembradas en diciembre del 2019 y cosechadas en agosto del 2020. Los tubérculos identificados se trasladaron al laboratorio del Programa de Raíces y Tuberosas de la Universidad Nacional

Agraria La Molina donde fueron lavados para eliminar restos de tierra adheridas en la cáscara.

3.1.2. El suelo del campo de procedencia de las accesiones en estudio

En la tabla 2 se presenta los resultados del análisis de caracterización del suelo de procedencia de las accesiones en estudio, realizado en el Laboratorio de Análisis de suelo, planta y agua de la UNALM.

Tabla 2: Análisis de fertilidad, caracterización y elementos para el suelo donde fueron cultivados los morfotipos

| Parámetro | Unidad de medida | Valor | Elemento disponible (ppm) | Valor |
|--|-------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|
| Clase textural | | Fr. A. | P | 3.2 |
| pH (1:1) | | 4.08 | K | 315 |
| C. E. (1:1) | dS/m | 0.23 | B | 0.52 |
| CaCO₃ | % | 0 | Cu | 1.7 |
| M.O. | % | 10.23 | Fe | 138.2 |
| CIC | meq/100g | 21.6 | Mn | 45.8 |
| Ca⁺² | meq/100g | 2.27 | Zn | 4.8 |
| Mg⁺² | meq/100g | 0.38 | S | 6.61 |
| K⁺ | meq/100g | 0.76 | | |
| Na⁺ | meq/100g | 0.07 | | |
| Al⁺³ + H⁺ | meq/100g | 4.12 | | |
| Suma de cationes | meq/100g | 7.6 | | |
| Suma de bases | meq/100g | 3.48 | | |
| Saturación de bases | % | 16 | | |
| N total | % | 0.57 | | |

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Fertilizantes y Aguas de la UNALM (2021)

El suelo se clasificó como franco arenoso (arena 63%, limo 29% y arcilla 8%). El contenido porcentual de arena le brinda la porosidad suficiente para una buena aireación. Además, el contenido estimado de materia orgánica (10.23 %) es alto y propio de zonas altoandinas.

Estas características indican que las condiciones físicas del suelo son favorables para el cultivo de papa al no presentar barreras físicas para el desarrollo subterráneo de las plantas.

Aun cuando diferentes autores indican que el cultivo de papa puede crecer en pH de 4.8 a 6.5 (Juaréz et al., 2006) y de 4.8 a 5.5 (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 1992), el pH del suelo de procedencia de los morfotipos (4.08) era muy ácido (Guerrero, 1998). Esta propiedad química del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes para la planta (Azcón-Bieto y Talón, 2013). En suelos ácidos incrementa la solubilidad de microelementos. En el análisis se registra la presencia de hierro (138.20 ppm), manganeso (45.80 ppm), cobre (1.70 ppm), boro (0.52 ppm) y zinc (4.80 ppm). Mendoza-Dávalos et al. (2021) mencionan que la incorporación de enmiendas orgánicas es útil para mejorar la condición de acidez a corto plazo.

De la misma manera, en suelos ácidos como Rayancancha se incrementa la solubilidad de aluminio (Al^+), por lo que se espera tener problemas de toxicidad, alteración de la absorción de fósforo y calcio (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Debido a, valores superiores de aluminio e hidrógeno intercambiable (54.21%) los cuales condicionan que los cationes pasan a la fracción soluble y puedan ser fácilmente lavados con el agua de lluvia (Garrido, 1994).

Esto, explicaría porque el suelo sería deficiente de calcio (menor a 4 meq/100 g) y magnesio (menor a 0.5 meq/100 g), a pesar de la textura del suelo que confiere la porosidad suficiente para que el magnesio puede estar disponible para la planta. Asimismo, las relaciones catiónicas entre el Mg con el Ca y K (Mckean, 1993) confirman la deficiencia de magnesio.

En particular, el ICA (1992) establece una interpretación de las bases intercambiables en el suelo y su porcentaje de saturación. Los iones se encuentran en un nivel de retención bajo a excepción del ion K que está presente en un nivel alto (mayor de 0.40 meq/100 g). Además, los porcentajes de saturación de Ca (29.86%), Mg (5.04%) y Na (0.92%) se clasificaron como bajos, mientras el K (9.98%) presenta una saturación de nivel alto (mayor a 3%). En estas condiciones se recomienda añadir enmiendas que contribuya a elevar el pH del suelo y consecuente mayor absorción de cationes Ca y Mg.

Lo expuesto, explicaría la alta Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC (21.60 meq/100 g) del suelo por ser una propiedad asociada con la textura, tipo de arcilla y contenido de materia orgánica (ICA, 1992), que permite retener o adsorber cationes necesarios para nutrir a las plantas evitando ser fácilmente lavados por estar presentes en la solución suelo (potencial

nutritivo del suelo). En nuestro caso, la materia orgánica estimada podría ser favorecedora del estado nutricional del suelo. Aunque, de la misma forma puede ser capaz de adsorber otros iones nocivos tales como residuos de plaguicidas, amoníaco o elementos pesados que pueden ser liberados en algún momento a la solución suelo (Garrido, 1994).

La conductividad eléctrica en pasta saturada (CE pasta= 0.46 dS/m) fue baja. Al ser una medida indirecta de la cantidad de sales disueltas que contiene un suelo (Garrido, 1994), se espera que las raíces raíz de papa puedan tomar fácilmente el agua del suelo (Mckean, 1993).

A partir de los resultados, se puede mencionar que la disponibilidad de fósforo en suelo (35.20 P₂O₅ kg/ha) es baja (ICA, 1992), se encuentra disponible para la planta como ion fosfato, y bajo las condiciones del pH (4.08) se absorbe preferentemente como H₂PO₄⁻ (Azcon-Bieto y Talón, 2013). Generalmente se puede encontrar fijado aun cuando la fuente de donde proviene sea un fertilizante o abono, e insoluble por reaccionar con óxido de hierro bajo suelos aireados (Brady y Wiel, 2014).

La disponibilidad del potasio (1821.36 K₂O kg/ha) es alta, porque está asociado como K soluble e intercambiable al estiércol que se aplica al suelo y algunas arcillas (Garrido, 1994; Mckean, 1993). Cabe resaltar que, el nitrógeno total (0.57 %) no indica la cantidad realmente disponible por las plantas, ya que está representado mayormente por el tipo orgánico y amoniacal. Estos se liberan paulatinamente de la materia orgánica para ser utilizado por las plantas, mientras que el nitrito y el nitrato se encuentran en la solución suelo (Garrido, 1994).

Se observa una baja disponibilidad de azufre (menor a 12 ppm) en el suelo (Pumishaco y Sherwood, 2002). Aunque, en suelos donde se cultiva papa el S total es alto, su disponibilidad depende de la mineralización del S orgánico. En nuestro caso, siendo un suelo de sierra desarrollado en ambientes fríos es de esperar que la actividad microbiana sea reducida (Jiménez, 2017).

La concentración de los micronutrientes en la solución suelo depende principalmente del pH del suelo, el potencial redox y la materia orgánica del suelo (Marschner, 1995). Por ejemplo, el boro es deficiente (menor a 1 ppm) en el suelo, lo poco disponible en el suelo está asociado con la materia orgánica y la planta lo toma como anión borato (BO₃⁻²) (Mckean, 1993).

3.1.3. El clima durante el ciclo de crecimiento de los morfotipos en estudio

Las condiciones de temperatura y humedad relativa presentes durante la estación de crecimiento y producción del campo de procedencia de los morfotipos en estudio se muestran como referencia en la figura 2 con registros parciales obtenidos en la Estación Meteorológica Canchán (Latitud 9°55' 15.43", Longitud 76°18' 34.62', a 1986 msnm). Se aprecia que, entre noviembre del 2019 y agosto del 2020, la Estación Meteorológica registró una temperatura promedio de 19.98 °C: un mínimo de 12.47 °C y máximo de 27.49 °C. Además, registró una humedad relativa promedio de 66.98 por ciento y precipitación acumulada de 354.30 mm.

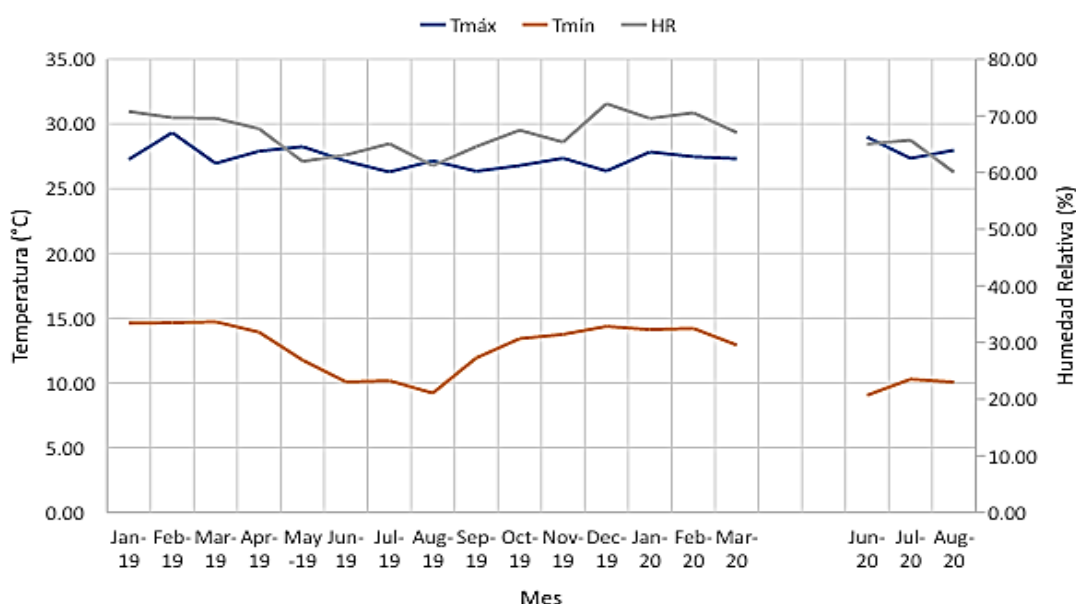


Figura 2. Temperatura y humedad relativa registrados en la Estación Convencional Canchan del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, Región Huánuco (enero 2019 – agosto 2020)

Fuente: SENAMHI (2020).

Adicionalmente, en la figura 3, la herramienta virtual predictiva METEOBLUE muestra registros climáticos del año 2020 en el distrito de Yacus, bajo cuya localización y altitud es más representativa del campo de procedencia de los morfotipos. De acuerdo con esta información, los meses de enero a agosto del 2020 presentaron temperaturas medias diarias cercanas a 5 °C, las mínimas cercanas a 0°C y debajo de 0°C a partir de mayo. Las temperaturas máximas en estos meses estuvieron alrededor de 10 °C y la humedad relativa alrededor de 80 a 90 por ciento.

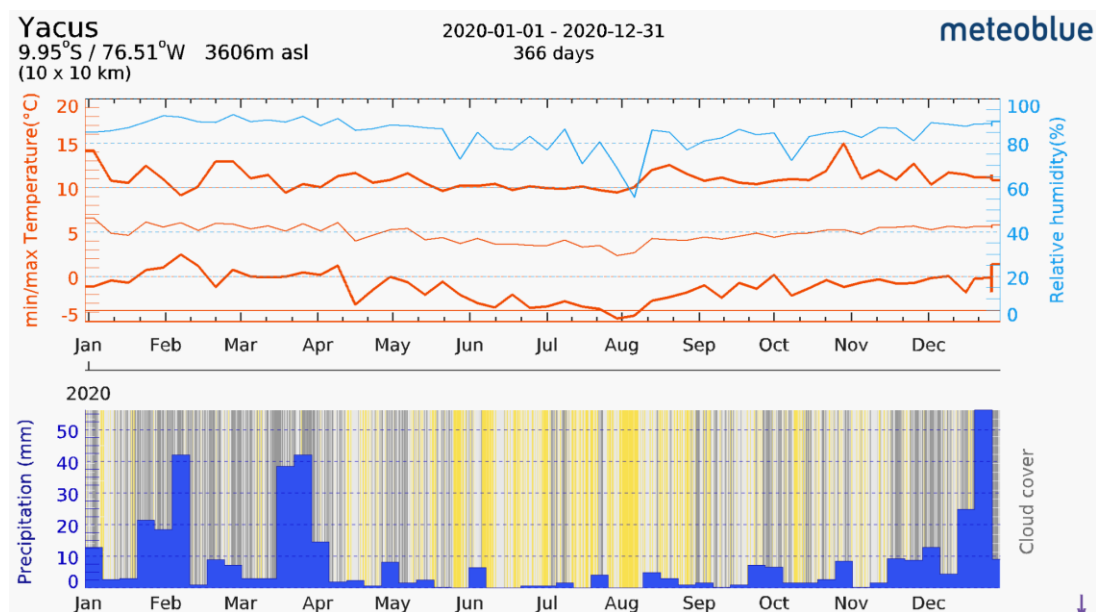


Figura 3. Datos ambientales predictivos del Distrito de Yacus

Fuente: METEOBLUE (2021)

3.1.4 Manejo agronómico del campo de procedencia de los morfotipos:

Las labores agronómicas se realizaron de acuerdo con las experiencias locales en producción de papas nativas y la supervisión de los técnicos de la UNALM. Las labores de preparación de suelos, siembra, deshierbo, aporque y cosecha fueron manuales.

La siembra se realizó el 07 de noviembre del 2019 en surcos, se preparó parcelas de 2.0 m 2 con un promedio de 10 tubérculos semilla de cada morfotipo distanciados en 1.0 m entre surcos y calles de 2.0 m. Por las condiciones favorables de pluviosidad, las plantas emergieron a partir de la tercera semana después de la siembra.

El primer cultivo (deshierbo) se realizó a los dos meses después de la siembra, fecha en la que el promedio de altura de plantas alcanzaba los 20 – 25 cm; en esta misma labor se realizó la incorporación de la primera dosis de fertilización NPK (100-160-150 kg/ha). El segundo cultivo o aporque se realizó a las diez semanas después de la siembra, cuando las plantas alcanzaban alturas de 30 – 35 cm en la que se aplicó una segunda dosis de 100 kg/ha de nitrógeno. Los fertilizantes empleados fueron nitrato de amonio, fosfato diamónico y cloruro de potasio.

Las medidas de protección sanitaria se priorizaron para la prevención de racha (*Phytophthora infestans*) mediante la alternancia de fungicidas sistémicos (Cymoxanil) con

Mancozeb en cuatro aspersiones totales. Por las condiciones de la localidad, la incidencia de enfermedades foliares o de gorgojo de los Andes fue mínima o de poca significación.

La cosecha se realizó el 4 de agosto del 2020 a los 289 días después de la siembra. La oportunidad de la cosecha se considera como muy retrasada debido a las limitaciones de movilización por el estado de emergencia sanitaria por la pandemia del COVID 19.

3.2 Procesos

La presente investigación se llevó a cabo bajo la secuencia mostrada en la figura 4.

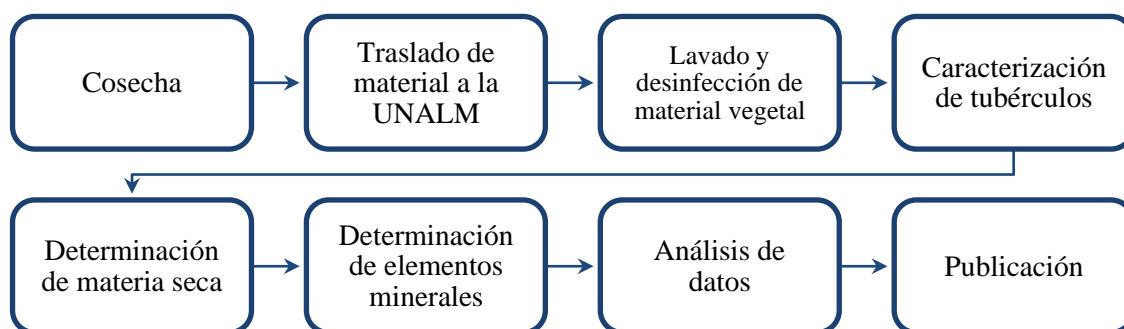


Figura 4. Secuencia de principales labores realizadas durante la investigación

3.3 Métodos

3.3.1 Lavado y desinfección del material

Una vez las papas se encontraron en la UNALM, se procedió a lavar cuidadosamente los tubérculos con agua, procurando eliminar los restos de tierra adheridos a la piel y en los ojos de las papas. Luego, se procedió a la inmersión de los tubérculos en una solución con insecticida Metamidophos y se dejó secar. Finalmente, se llevó los tubérculos al almacén en las oficinas del Programa de Raíces y Tuberosas.

3.3.2 Caracterización de tubérculos

Esta actividad se realizó en las instalaciones del PIPS – RT de la Universidad Nacional Agraria la Molina durante el primer mes posterior a la cosecha. Para ello, se tomó como referencia los descriptores propuestos por el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria INIEA (2006) para tubérculos de papa; así como evaluaciones morfológicas previas del PIPS – RT en tubérculos de papas nativas de la Región Huánuco. La caracterización consistió en el registro de los estados fenotípicos del color de la piel o cáscara, forma predominante, color de la pulpa, cantidad y profundidad de ojos de los tubérculos de cada morfotipo. Los resultados de la caracterización morfológica de los tubérculos se muestran en el Anexo 01.

Para alcanzar efectos prácticos y el análisis de la presente investigación, se elaboró una tabla propia de descriptores de los estados fenotípicos de las variables categóricas (color de piel, forma y color de pulpa). Estas se adaptaron y asociaron a aquellas que son más perceptibles por los usuarios (amas de casa, procesadores, comerciantes, etc.). Si bien MINAGRI (2017), indica que EMMSA clasifica a las papas por su color de piel (“blancas” y “de color”) o de la pulpa (“blanca” y “amarilla”), la tabla empleada busca explorar e integrar otras características de los tubérculos de papa nativa.

Tabla 3: Descriptores empleados en la caracterización del color de piel, forma y color de pulpa de los morfotipos en estudio

| Color de piel/cáscara | Forma de tubérculo | Color de pulpa/carne. |
|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Blanca | 1. Redonda | 1. Blanquecina |
| 2. Amarilla | 2. Alargada | 2. Amarilla |
| 3. Rojiza | 3. Especial | 3. Pigmentada |
| 4. Oscura | | |
| 5. Bicolor | | |

Como se observa en la tabla 3, el descriptor color de piel se agrupó de la siguiente manera: piel blanca a los morfotipos blanquecinos y blanco- cremas; amarilla a los morfotipos con

cáscara amarilla y anaranjada; rojiza a los de piel rosada, roja y rojo morada; como oscura a los de piel morada y negra; y de colores a morfotipos con color secundario distribuido alrededor de los ojos, solamente en los ojos o como manchas dispersas. Además, en todos los casos no se tomó en cuenta la intensidad de color.

En la forma de tubérculos los caracterizados como redonda incluye a las formas comprimido, esférico, ovoide y obovoide; como alargada a los tubérculos elíptico, oblongo, largo-oblongo y alargado; como especiales a las formas aplanado, clavado, reniforme y fusiforme. Cabe mencionar que en aquellos morfotipos con las formas especiales de falcado (curvado en forma de una hoz o herradura), enroscado (largo y enroscado o curvado en un extremo) digitado (parecido a una mano abierta o un puño) y tuberosado (cubierto por pocas o muchas protuberancias que le dan una apariencia a una piña o racimo de uvas), se priorizó la forma general del tubérculo para incluirlo al grupo de las redondas o alargadas.

Finalmente, la caracterización del color de pulpa se agrupó en blanquecina (conformada por aquellos tubérculos con pulpa de color blanco y crema); amarilla (conformada por aquellos tubérculos con pulpa de color amarillo claro, amarillo y amarillo intenso) y como pigmentadas (a aquellos tubérculos cuya pulpa presentaba color secundario rojo, morado o violeta).

La caracterización propuesta para los tubérculos de los 304 morfotipos se encuentran descritos en el Anexo 2.

3.3.3 Determinación de materia seca

En la figura 5, se grafica la secuencia de determinación de la materia seca de los tubérculos realizada en las instalaciones del PIPS – RT de la UNALM (Latitud: 12° 4'45.48"S; Longitud: 76°56'45.32"W y Altitud de 783 msnm). Se empleó el método de eliminación del agua libre por medio del calor (Batteman, 1970, como se citó en De la Roza et al., 2002). Para ello, se registró el peso de cada tubérculo, se cortó en trozos y se colocó en un recipiente para el secado en estufa por al menos 72 horas. Luego, se retiraron y mediante una balanza digital se determinó el peso seco de cada tubérculo en gramos y se colocó en una bolsa ziplock (4x4 cm) previamente codificada. Los resultados promedio se expresaron en porcentaje como se observa en el Anexo 03.

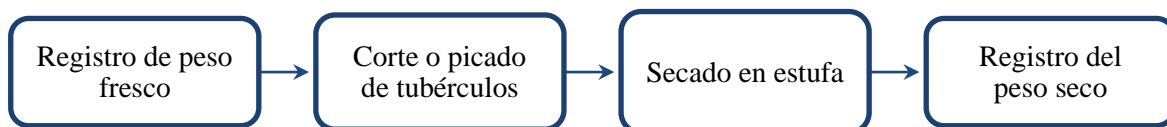


Figura 5. Secuencia de procedimiento en la detección de materia seca

Para estimar la proporción total de materia seca en el tubérculo, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Peso de materia seca (\%)} = \frac{\text{Peso seco de tubérculo (g)}}{\text{Peso fresco de tubérculo (g)}} \times 100$$

Posterior al agrupamiento de morfotipos, se identificó la cantidad de accesiones presentes en cada grupo. Dentro de cada uno se determinó la media, los valores máximos y mínimos, para los valores extremos se mostrará sus descriptores morfológicos a nivel de tubérculo.

3.3.4 Determinación de elementos minerales

Esta etapa se realizó en las instalaciones de los laboratorios de Fertilidad del Suelo “Sven Villagarcía Hermosa” y Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM. Se usaron 100 clones tomados al azar en número de 20 morfotipos dentro de los cinco grupos (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) identificados por su contenido de materia seca. Para

ello, se efectuó la molienda de cada tubérculo seco contenido en la bolsa ziplock con ayuda de un mortero, licuadora y colador.

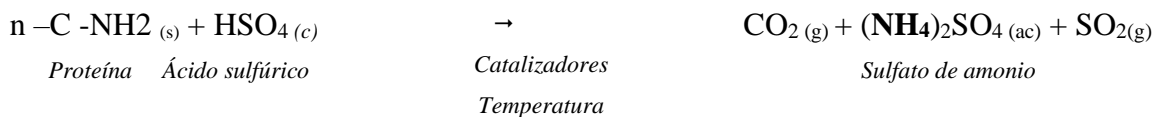
a. Determinación del contenido de nitrógeno

El contenido de nitrógenos en los tubérculos se determinó por el método de Micro-Kjendahl y se realizó bajo el protocolo del laboratorio de Fertilidad del Suelo “Sven Villagarcía Hermosa” de La Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

El principio del método consiste en la destrucción de toda la materia orgánica que contenga nitrógeno. Las etapas comprenden digestión, destilación (neutralización) y titulación (Banderas, 2012).

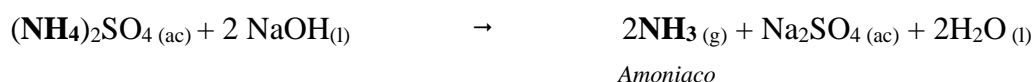
La digestión ácida, se realizó colocando en un horno fiolas cuyo contenido individual estaba compuesto por 1 g de catalizador (0.1 g de Sulfato de cobre y 0.9 g de Sulfato de potasio), 0.1g de la materia seca (pulverizada y homogenizada) de cada morfotipo y 3 ml de ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente, se retiró de las hornillas cuando el contenido de cada fiola cambio a un color verde turquesa. Se esperó a que bajaran la temperatura del contenido y, finalmente, a cada balón tipo Kjeldahl se le agregó 20 a 30 ml de agua destilada.

La muestra se digiere con el ácido sulfúrico formándose sulfato de amonio mediante la siguiente reacción:



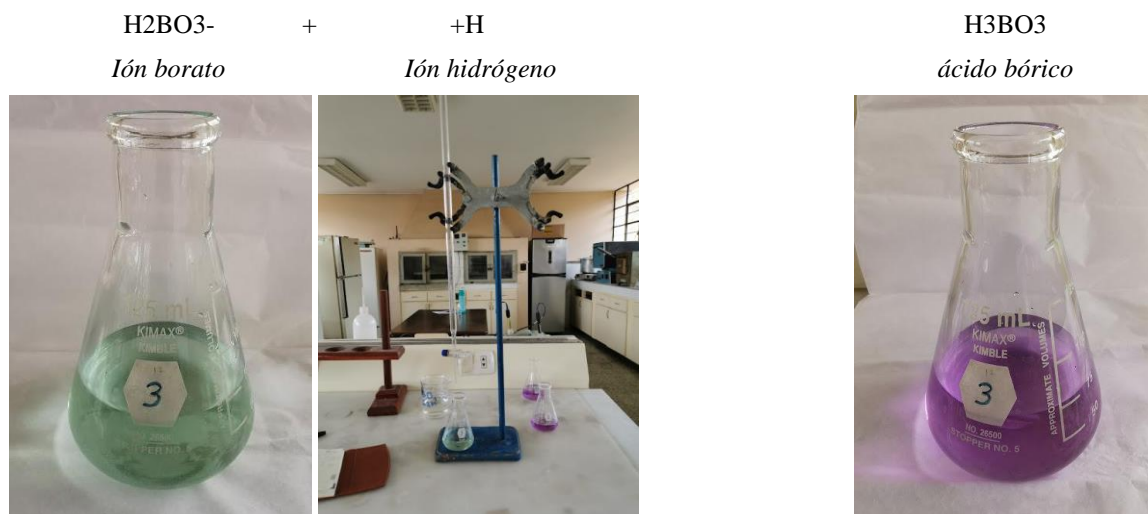
La neutralización y destilación de NH_3 se realizó colocando en el extremo de un destilador un matraz (125 ml) conteniendo ácido bórico al 2% (20ml). Seguidamente, se colocó la fiola que quedó sellada para añadir poco a poco soda al 50% hasta que la mezcla viró a un color marrón, mientras que continúa la destilación. Una vez que se dio el cambio de coloración, se agitó el matraz hasta que su contenido cambie de color morado a turquesa o verde claro. Finalmente, se retiró el matraz y fiola al cabo de tres minutos.

El sulfato de amonio, en exceso de hidróxido de sodio, libera amoníaco que es recogido mediante arrastre de vapor en el proceso de destilación, expresado en la siguiente reacción:



La titulación de la solución contenida en el matraz se realizó agregando gotas de una solución de ácido clorhídrico 0.02 N hasta lograr un viraje de verde a morado tenue. Luego, se anotó la cantidad de ácido gastado en este proceso (el anión borato es titulado con ácido)

para la posterior valorización. Dado que, la cantidad de ion borato generado es proporcional a la cantidad de nitrógeno presente en la muestra. Se expresa con la siguiente fórmula:



La valoración del porcentaje de nitrógeno (N) en materia seca se determinó con la siguiente fórmula (Banderas, 2012):

$$\% N = \frac{V_{\text{ml ácido gastado}} \times N_{H_2SO_4} \times 0.014007}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

b. Determinación del contenido de los demás elementos minerales

El contenido de Fósforo (P), Potasio (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Azufre (S), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Boro (B) en los tubérculos de papas nativas se determinó previa digestión húmeda. Este procedimiento consiste en atacar el material vegetal con ácidos sin calcinar, lo que permite oxidar su materia orgánica para determinar los elementos de interés.

Para ello, como se muestra en la figura 6, se pesó 0.5 g de materia seca pulverizada de cada uno de los tres tubérculos de cada morfotipo y se colocaron en un matraz (125 ml). Posterior a ello, se les agregó 7 ml de ácido nítrico perclórico. Luego, se colocaron a una plancha cuya temperatura llegaba hasta los 170°C y se retiraron conforme el contenido del matraz se tornaba de una solución líquida a cristales sólidos y completamente secos. Seguidamente, los cristales fueron disueltos con agua desionizada caliente y se colocaron en embudos para

el proceso de filtrado. Finalmente, cada extracto se enrasó a 25 ml y se llevó a un tubo previamente codificado.

Los extractos se llevaron al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM (LASPAF-UNALM) para su posterior lectura. El elemento fósforo se determinó por el método azul de molibdato. El elemento boro fue determinado por el método de la curcumina. El elemento azufre se determinó mediante el método de turbidez BaCl₂. Después, los elementos se determinaron en conjugación con un espectrofotómetro UV-visible. La absorbancia de las diluciones de la muestra se midió mediante colorímetro (Thermo Scientific™ Genesys 30 Vis). Se utilizó el protocolo del LASPAF-UNALM.

Los elementos K, Ca, Mg, Na, Cu y Zn fueron determinados por el Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. La absorbancia de la dilución fue medida por la Estación de Absorción Atómica (Artisan™ Perkin Elmer 31000). Igualmente, se utilizó el protocolo del LASPAF-UNALM.

Los datos obtenidos, en base a la materia seca, para el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio de los tubérculos se expresaron en porcentaje de materia seca (%MS). Así como, sodio, azufre, zinc, cobre y hierro se expresaron en partes por millón (ppm) que equivale a mg.kg⁻¹.

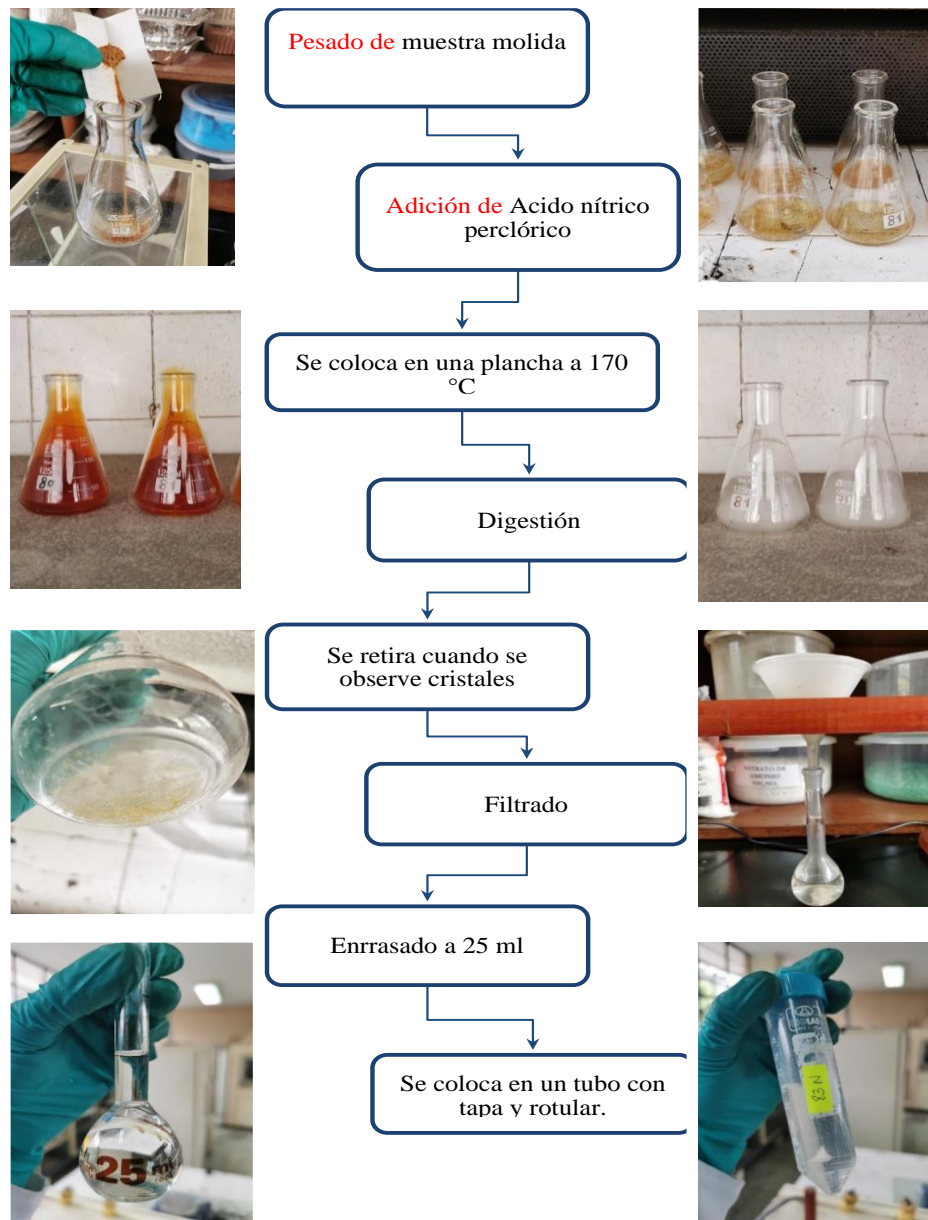


Figura 6. Procedimiento de digestión húmeda de los tubérculos

3.4 Análisis estadístico

Primero, se realizó un análisis univariado para el contenido de materia seca y minerales. Puesto que, empleamos la estadística descriptiva para calcular medidas de tendencia central (promedio y mediana), valores máximos y mínimos.

Posteriormente, se realizó un análisis predictivo para estimar las relaciones entre los caracteres fenotípicos con el contenido de materia seca y minerales. Para ello, se utilizó el modelo de árbol, que según Silvent et al. (2013) representa de forma gráfica y analítica un conjunto de datos: el modelo es una técnica estadística predictiva que permite segmentar y

filtrar variables e identificar interacciones. Es importante en nuestro estudio porque pronostica valores de una variable dependiente (criterio) basadas en valores de variables independientes (predictoras). Los resultados visuales ayudan a buscar subgrupos específicos y relaciones que pueden no encontrarse con las estadísticas tradicionales.

Con fines prácticos los modelos predictivos de tipo árbol donde se presentó a la variable “elemento mineral” como dependiente y los “caracteres fenotípicos” como independientes serán interpretados a una profundidad de 1 y un nivel de 2. Mientras que, para el modelo predictivo entre el N y los caracteres fenotípicos se tomó el diagrama por completo.

Finalmente, se realizó un análisis bivariado para buscar la existencia de una relación significativa directa o inversa ente el contenido de materia seca (variable dependiente) y minerales (variable independiente), mediante la determinación de los coeficientes de correlación de Pearson de tipo lineal.

El programa estadístico que se usó para el desarrollo del presente estudio fue R Studio versión 4.1.2 con los paquetes agricolae para el histograma; GGally, ggplot2, dplyr, FactoMineR y factoextra para los diagramas de caja; y rpart junto con rpart.plot para los árboles de decisiones. El programa de Microsoft Office Excel 2016 se usó para determinar la correlación ente materia seca y minerales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Contenido de materia seca en tubérculos de papa nativa cultivadas en la región Huánuco

Los contenidos de materia seca y su variación se observan en la Figura 7. El promedio fue de 23.61% con una desviación estándar de 4.02. El contenido de materia seca varió de 14.71 a 33.51 %. Entre los morfotipos, el B288 ('Puca yana huacta') mostró el contenido más alto de materia seca y el B108 ('Lushay') mostró el más bajo.

Estos resultados discrepan de los obtenidos previamente por Rivero y Peralta (2015), Ramírez (2015), Fonseca et al. (2014) y Obregón y Repo (2013). Aunque, son coincidentes con otros resultados reportados en la literatura. Centro Internacional de la Papa et al. (2015), reportaron contenidos de 16.7 a 34.4 % MS en 129 papas nativas del distrito de Chugay (La Libertad, Perú). Egúsqüiza y Egúsqüiza (2011) estudiaron 183 accesiones de Huánuco con contenidos de materia seca de 22.30 a 35.10 %.

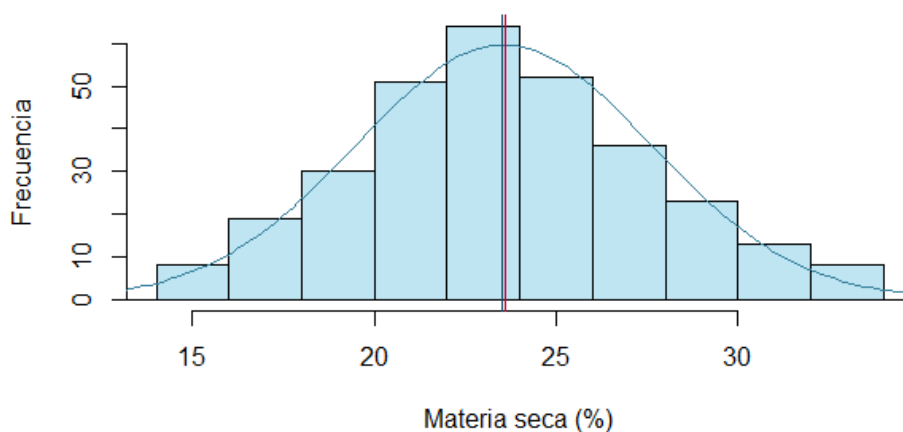


Figura 7. Histograma del contenido de materia seca promedio en los tubérculos de 305 morfotipos de papa nativa

El contenido de materia seca de los tubérculos depende de las *interacciones* entre la genética de cada variedad (Rastovski et al., 1981) con las condiciones ambientales en las que se producen (Munson y Nelson, 1990).

La influencia del clima sobre el contenido de materia seca de los tubérculos está relacionado a la radiación y temperatura. (Ewing, 1977 citado por Ortega 2014). Haverkort et al. (1990) indica que la radiación diurna y la temperatura son importantes para la síntesis de azúcares (necesarios para la materia seca del tubérculo). Si son altos y las pérdidas de carbono son bajas, la efectividad de la fotosíntesis aumenta. Por ejemplo, Semanario et al. (2017) y Rojas y Seminario (2014) demostraron diferencias en el contenido de materia seca en la misma región y cultivares con papa cultivada en Cajamarca. En ambos estudios se determinó el contenido de materia seca en cultivares de papa del grupo Phureja (chaucha); los primeros autores reportaron valores comprendidos en un rango de 18 a 25 por ciento en 17 cultivares, mientras que los segundos autores reportaron un rango de 24 a 28 por ciento en 10 cultivares.

Además, Woolfe (1987) mencionó que algunos estudios también argumentaron que dentro del factor ambiental como las *prácticas culturales* y el *tipo de suelo* influyen en el contenido de materia seca. Por un lado, se menciona que la fertilización nitrogenada tiene un efecto negativo sobre los parámetros de calidad del tubérculo (Giletto et al., 2013), cuando las dosis superan las necesidades del cultivo (Laboski y Kelling, 2007) tanto en el peso específico como materia seca. Por otro lado, se espera que los suelos con pH menores a 5.5 tengan problemas de toxicidad debido al aumento de la solubilidad del Al⁺. Asimismo, se espera alteración de la absorción de fósforo y calcio (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Además, se reporta que una mayor saturación de aluminio perjudica el desarrollo radicular del cultivo (Juárez, Sánchez y Sánchez, 2006; Andrades y Martínez, 2014).

En la Tabla 4 se presenta características de los morfotipos en cinco grupos cuyos rangos de materia seca podrían corresponder a la apreciación sensorial de los usuarios de la papa. Se destacan los valores extremos pertenecientes a los grupos de muy bajo y muy alto contenido de materia seca.

Tabla 4: Características de los agrupamientos de tubérculos utilizados en el estudio de materia seca

| Grupo | Descripción | Morfotipos | | Materia seca promedio (%) |
|--------------|--|------------|---------------|---------------------------|
| | | Cantidad | % | |
| Muy bajo | Materia seca menor a 18 % | 26 | 8.52 | 16.60 ± 1.04 |
| Bajo | Materia seca mayor o igual a 18% y menor a 22 %. | 82 | 26.89 | 20.30 ± 1.03 |
| Medio | Materia seca mayor o igual a 22% y menor a 26% | 115 | 37.70 | 23.92 ± 1.05 |
| Alto | Materia seca mayor o igual a 26% y menor a 30% | 61 | 20.00 | 27.75 ± 1.04 |
| Muy alto | Materia seca mayor o igual a 30% | 21 | 6.89 | 31.64 ± 1.07 |
| Total | - | 305 | 100.00 | - |

El grupo de 26 morfotipos con muy bajo contenido de materia seca registró una mediana de 16.78 por ciento. Dentro de ellos, los morfotipos ‘Lushay’ (B108), ‘Mapash’ (B94) y Schacuapa runtun (B127) registraron menos de 15 por ciento de materia seca. El 50 por ciento de datos centrales estuvo comprendido entre los valores de 15.66 y 17.48 por ciento. En la Tabla 5 se muestran los 10 morfotipos con menor contenido de materia seca.

Tabla 5: Morfotipos con muy bajo contenido de materia seca

| Morfotipos | Nombre | Materia seca (%) | Desviación estándar |
|------------|------------------|------------------|---------------------|
| B108 | Lushay | 14.71 | 2.48 |
| B94 | Mapash | 14.89 | 0.26 |
| B127 | Schacuapa runtun | 14.91 | 1.28 |
| 510 | s/n | 15.02 | 1.95 |
| B38 | Mulapa jaytanan | 15.38 | 1.90 |
| B253 | Muru pantalón | 15.66 | 1.54 |
| B154 | Shagsha elena | 15.67 | 1.17 |
| B148 | s/n | 15.80 | 0.91 |
| B87 | Shagsha rayhuana | 16.19 | 1.59 |
| B215 | Yana piña | 16.24 | 0.28 |

El grupo con muy alto contenido de materia seca registró una mediana de 31.52 por ciento. Los morfotipos con más de 33.0 por ciento de materia seca fueron ‘Cachi juytu’ (287), ‘Yuca

papa' (646) y 'Puca yana huacta (B288). El 50 por ciento de datos centrales está comprendido entre los valores de 30.79 y 32.70 por ciento. En la Tabla 6 se muestran los 10 morfotipos con el mayor contenido de materia seca.

Tabla 6: Morfotipos con muy alto contenido de materia seca

| Morfotipo | Nombre | Materia seca (%) | Desviación estándar |
|------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 610 | Quinoa tullun | 31.76 | 1.81 |
| B276 | Yuracc tushi juytu | 31.77 | 2.36 |
| B312 | Yana pishgosh | 32.02 | 0.43 |
| B11 | Amarilla yema de huevo | 32.08 | 2.53 |
| 569 ^a | s/n | 32.61 | 1.77 |
| 234 | Huacapa runrún | 32.79 | 1.23 |
| 241 | Garhuash iscu phuru | 32.84 | 2.00 |
| 287 | Cachi juytu | 33.05 | 0.75 |
| 646 | Yuca papa | 33.17 | 2.81 |
| B288 | Puca yana huacta | 33.51 | 0.80 |

Para Capezio et al. (1993), el mayor porcentaje de materia seca en el tubérculo produce alto rendimiento del producto procesado y mejor calidad. Ticsihua (2016) menciona que, a mayor gravedad específica (se usa para medir la relación de la cantidad de materia seca y agua), el porcentaje de almidón es alto (entre 60 a 80 por ciento) y el contenido de azúcares reductores es menor, lo cual limita el pardeamiento no enzimático durante la fritura (Feltran, Borges y Lopes, 2004).

La acidez intercambiable del suelo de Rayancancha (54,21%) pudo haber afectado el contenido de materia seca de los tubérculos de los morfotipos. Sin embargo, el valor culinario de la papa nativa andina aún está representado. Por un lado, Cortez y Hurtado (2002), en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal – CENTA de El Salvador, indican que la calidad culinaria de las variedades es *excelente* si tienen un contenido de materia seca superior a 25.00 por ciento, *buena* si comprende valores desde 23.00 a 24.00 por ciento y *regular* si es menor a 23.00 por ciento. Por otro lado, Centro Internacional de la Papa (2007) argumentó que un contenido superior a 20.00 por ciento es *aceptable* debido a la menor absorción de aceite y mejor textura en las hojuelas de papa.

Por lo tanto, tomando en cuenta estas apreciaciones cualitativas, en el presente estudio se registró 249 morfotipos (81.64 por ciento) con un contenido de materia seca *aceptable*, y 104 morfotipos (28.05 por ciento) con una calidad culinaria *excelente*.

4.2 Relación entre los caracteres fenotípicos y el contenido de materia seca de los tubérculos

En las Tablas 7, 8 y 9 se presenta los valores promedio y mediana del contenido de materia seca de los morfotipos agrupados de acuerdo con la caracterización del color de piel, color de pulpa y forma de sus tubérculos. El primero, se observa que el contenido de materia seca de los tubérculos con piel blanca, rojiza, oscura y bicolor son relativamente semejantes mientras que los de piel amarilla presentan mayor promedio (1.5 a 2.0 veces más) y mayor mediana (dos veces más).

Tabla 7: Contenido de materia seca según el color de piel de tubérculo

| Color de piel | Blanca | Amarilla | Rojiza | Oscura | Bicolor |
|----------------------|--------|----------|--------|--------|---------|
| Promedio | 23.69 | 25.52 | 24.01 | 23.44 | 23.19 |
| Mediana | 24.43 | 26.25 | 23.88 | 23.46 | 22.83 |
| Morfotipos | 12 | 28 | 43 | 43 | 178 |

En el segundo, se observa que los tubérculos con pulpa amarilla presentan mayor materia seca, aproximadamente 2.0 por ciento más que los de pulpa blanquecina y pigmentados cuyos contenidos son semejantes.

Tabla 8: Contenido de materia seca según el color de pulpa del tubérculo

| Color de pulpa | Blanquecina | Amarilla | Pigmentadas |
|-----------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| Promedio | 22.73 | 24.89 | 23.21 |
| Mediana | 22.62 | 24.42 | 22.90 |
| Morfotipos | 110 | 102 | 92 |

Finalmente, el tercero permite apreciar que el promedio de materia seca y mediana de los morfotipos agrupados por la forma de sus tubérculos son similares

Tabla 9: Contenido de materia seca según la forma de tubérculo

| Forma | Alargada | Redonda | Especial |
|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Promedio | 24.26 | 23.69 | 23.32 |
| Mediana | 23.60 | 23.60 | 22.97 |
| Morfotipos | 39 | 113 | 152 |

La clasificación gráfica realizada por el “Modelo de árbol” que ha analizado la relación entre la variable dependiente (contenido de materia seca) con las variables independientes (caracteres fenotípicos de los tubérculos) se presenta en la figura 8. De acuerdo con los resultados del modelo, las diferentes formas de los tubérculos (redondas, alargadas y especiales), no tienen ninguna influencia o, en otros términos, no son suficientes para predecir diferencias en el contenido de materia seca.

El modelo de árbol clasifica y diferencia el contenido de materia seca de los morfotipos principalmente por el color de la pulpa. La materia seca de los morfotipos de pulpa amarilla es 2 por ciento mayor que los de pulpa blanquecina o pigmentada. De la misma forma, dentro de los morfotipos de pulpa amarilla el modelo distingue dos subgrupos diferentes de acuerdo con el color de la piel. Los morfotipos de pulpa y piel amarilla contienen cerca de 3 por ciento más materia seca que los morfotipos con tubérculos de pulpa amarilla, pero con piel blanca, bicolor, rojiza u oscura.

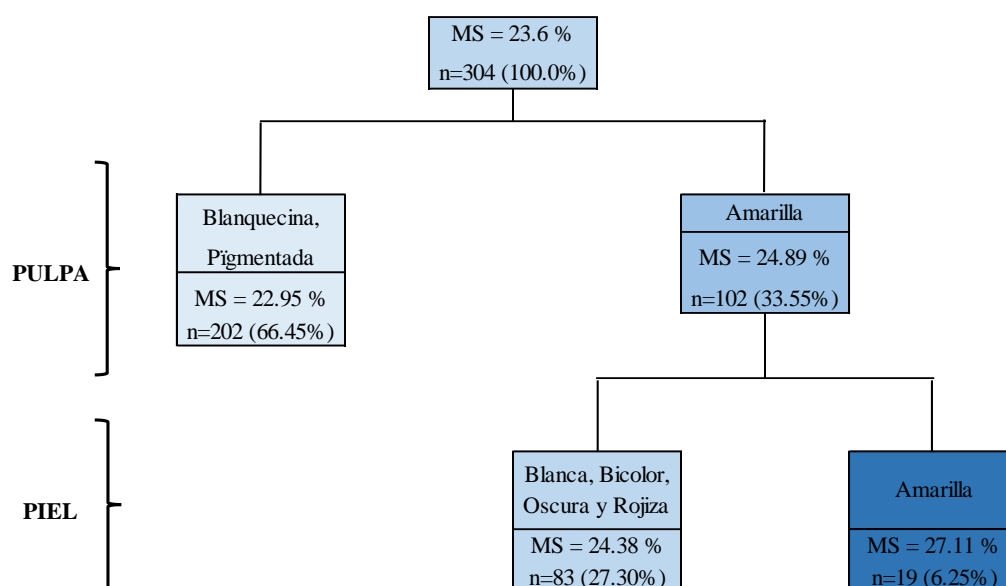


Figura 8. Diagrama de árbol de la materia seca con caracteres fenotípicos de los tubérculos

De acuerdo con el estudio realizado por Douches *et al.* (1996, como se citó en Andreu y da Silva, 2007) podría existir algún tipo de asociación entre el color de la piel de los tubérculos de papa y su calidad para el procesamiento. Mientras que, Andreu y da Silva (2007) al clasificar seis variedades y 12 clones en amarillas (tonalidades cremas hasta amarillas y con pesos específicos superiores a 1.080) y coloreadas (rosa pálido hasta púrpura intenso cercano a negro, con pesos específicos inferiores a 1.070) no encontraron asociación entre el color de la piel de los tubérculos con la cantidad de materia seca ni con el color de las hojuelas.

Aunque el contenido de materia seca de los morfotipos con pulpa blanquecina y pigmentada (22.95%) es menor al promedio general, no significa que sean de mala calidad. Álvarez (2001) menciona que la ventaja competitiva de las nativas de color blanco en la producción de harinas y almidón es su menor grado de humedad; adicionalmente, indica la importancia de las pulpas de color en el mercado de las papas para hornear por ofrecer una imagen natural y exótica por las cualidades de color, sabor y textura. La Tabla 10 presenta los diez morfotipos de piel y pulpa amarilla con mayor materia seca.

Tabla 10: Morfotipos con pulpa y cáscara amarilla con los mayores contenidos de MS

| Morfotipo | Nombre | Promedio (%) | Desviación estándar |
|------------------|------------------------|---------------------|----------------------------|
| 674 | s/n | 31.52 | 1.58 |
| 646 | s/n | 30.80 | 4.57 |
| B15 | Shuplanca redonda | 30.38 | 1.04 |
| B16 | Poquesina | 29.84 | 0.82 |
| 707 | s/n | 27.95 | 2.15 |
| B12 | Puca ñahui tumbash | 27.37 | 2.31 |
| B11 | Amarilla yema de huevo | 26.80 | 9.32 |
| 731 | s/n | 26.00 | 0.81 |
| B9 | Tumbash | 25.94 | 1.04 |
| B13 | Runtush | 24.96 | 0.30 |

4.3 Elementos minerales contenidos en la materia seca de los tubérculos

Los valores del contenido de elementos minerales en los 100 morfotipos se encuentran en el Anexo 4. Además, En la Tabla 11 se presentan los valores promedios, máximos y mínimos de los elementos minerales contenidos en los tubérculos de los 100 morfotipos analizados juntamente con la información registrada por el U. S. Department of Agriculture (2019a). Se aprecia que los promedios registrados en los contenidos de P, K, Ca, Mg, Na, Cu y Zn de las papas nativas son superiores respecto a la data del perfil alimentario del USDA para papa tipo “Russet”. Esta papa es conocido como papa de Idaho en los Estados Unidos.

Reid et al. (2003), resaltan que la baja tasa transpiración de los tubérculos (gracias al peridermo, baja área superficial por volumen y humedad del suelo) no permite un abastecimiento de nutrientes vía xilema. Además, considera estudios donde se sugiere que no existe conexión xilematica funcional entre las raíces basales y el tubérculo tal como se observa en la Figura 9. Es decir, el floema suministra los fotoasimilados necesarios para el

llenado del tubérculo y el agua suministrada que sería suficiente para compensar su evaporación por el peridermo.

Tabla 11: Comparación de los contenidos de minerales de 100 morfotipos de Huánuco con lo reportado en el perfil alimentario del USDA (2019)

| Minerales | Valores Morfotipos | | | Valores USDA | | |
|-----------|--------------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | Promedio | Mínimo | Máximo | Promedio | Mínimo | Máximo |
| N (%) | 0.91 | 0.55 | 1.64 | - | - | - |
| P (%) | 0.10 | 0.01 | 0.23 | 0.055 | 0.048 | 0.060 |
| K (%) | 1.23 | 0.81 | 2.30 | 0.417 | 0.368 | 0.458 |
| Ca (%) | 0.10 | 0.05 | 0.19 | 0.013 | 0.011 | 0.015 |
| Mg (%) | 0.19 | 0.04 | 0.80 | 0.023 | 0.021 | 0.025 |
| Na (%) | 0.03 | 0.01 | 0.09 | 0.005 | 0.004 | 0.005 |
| S (%) | 0.04 | 0.01 | 0.12 | - | - | - |
| Cu (ppm) | 8.05 | 0.01 | 51.22 | 1.03 | 0.77 | 1.3 |
| Zn (ppm) | 17.04 | 0.05 | 77.28 | 2.90 | 2.70 | 3.00 |
| B (ppm) | 27.23 | 4.67 | 107.15 | - | - | - |

Subramanian et al. (2011) mencionan que los elementos minerales tomados del suelo para movilizarse hacia el tubérculo se distribuyen inicialmente desde los órganos aéreos vía floema. Los minerales más móviles en el tejido floemático son Mg, S, P, Cl y K y se encuentran en forma iónica o formando moléculas orgánicas. Los de movilidad intermedia son el Zn y Cu. Los menos móviles (hasta inmóviles) son Ca, Mn y Fe. Reid et al. (2003), mencionan que existen rutas metabólicas alternativas para los elementos de baja movilidad floematica. Por ejemplo, para el Ca mencionan estudios que indican la ligera transferencia del elemento desde las raíces basales y puede ser tomado directamente a través del peridermo o estolones y raíces del tubérculo.

A pesar de ello, Whittaker et al. (2010) evidencia que las propiedades del suelo son determinantes para el contenido de elementos minerales en el tubérculo al señalar que en suelos ácidos se ve favorecido la absorción de Zn, Cu, Mn. En el presente estudio, el suelo

ácido de Rayancancha, explicaría las diferencias marcadas en el contenido de Zn y Cu entre los datos del USDA y los 100 morfotipos de papas nativas

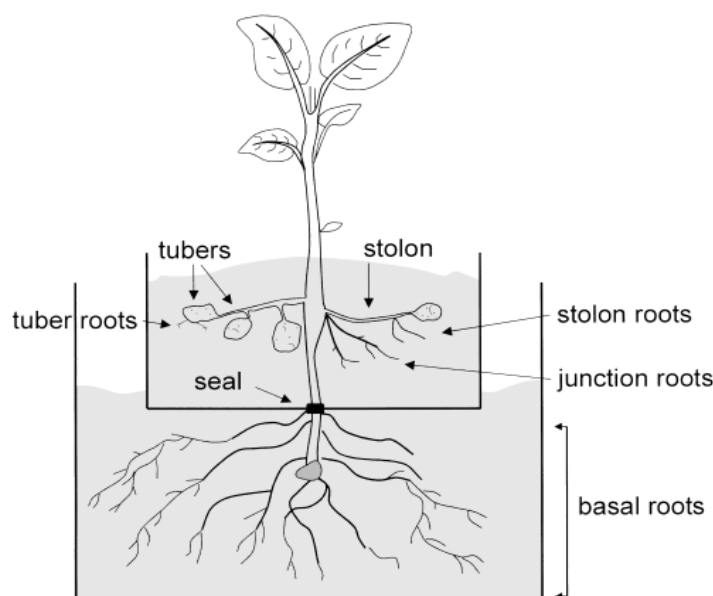


Figura 9. Sistema subterráneo de la planta de papa

Fuente: Reid et al. (2003)

4.2.1 Macroelementos minerales primarios:

La Figura 10 grafica los promedios, la mediana y la dispersión de los contenidos del N, P y K en el que se confirma que el potasio es el mineral con mayor porcentaje en los tubérculos.

El mayor contenido de N se registró en B254 y el menor en 527A y B111. Recientemente no se disponía de información sobre la papa nativa andina. Sin embargo, el contenido de N en los morfotipos varió con los resultados obtenidos previamente.

En general, los valores registrados en el análisis difieren a lo reportado por Ezeta y McCollum, (1972) quienes determinaron valores de 1.13, 0.87, 0.88 y 0.89 de N a los 137, 156, 172 y 195 días después de siembra en tubérculos de la variedad ‘Renacimiento’. Asimismo, en Mérida (Venezuela), Villa *et al.* (2020), describen que el nitrógeno dentro de cada órgano tendió a disminuir con el transcurso del tiempo independiente de la forma y dosis de nitrógeno aplicado al suelo. En Costa Rica, Cabalceta et al. (2005), citan a Bertsch

(2003) y plantean que el descenso en el contenido total de N de 1.75 a 1.53 % y de 2.3 a 1.41 % del peso seco en tubérculo puede deberse a una dilución de este elemento en la planta que se absorbe casi en su totalidad al principio del ciclo de crecimiento.

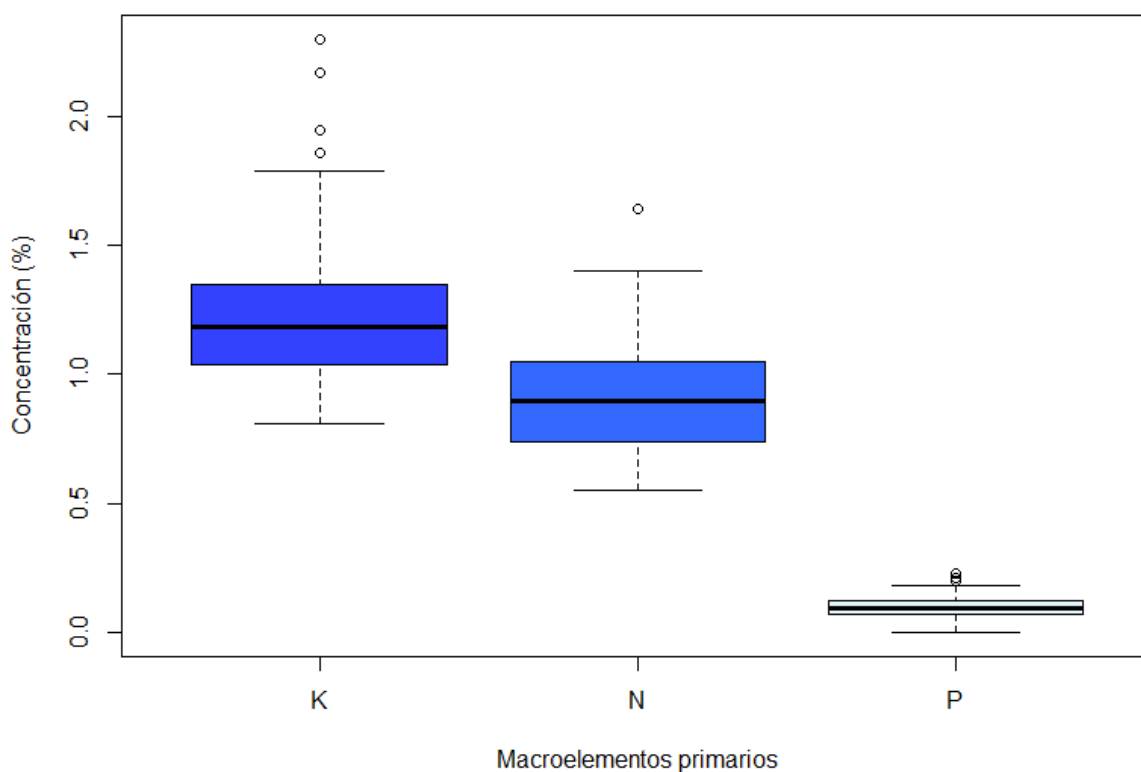


Figura 10. Cantidad de macroelementos minerales primarios en los tubérculos de los morfotipos de papas nativas

El pH ácido del suelo de procedencia de los morfotipos pudo tener influencia a pesar de haber sido sembrados en un suelo con 0.57 % de N total. En Bolivia, Pestalozzi (2000) trabajó con tubérculos cosechados a 4000 y 4360 msnm, en suelo ácido (pH 4.8) y registró 0.2 % \pm 0.07 de N total. Adicionalmente, se puede indicar que el nitrógeno total en el suelo puede ser alto, pero no movilizable. A pesar de que el suelo de Rayancancha es de alto contenido de materia orgánica (10.23 %), las bajas temperaturas propias de su altitud determinan una baja tasa de mineralización (Hervé et al., 2006).

El contenido promedio de **potasio** de todos los morfotipos fue 1.23 por ciento de la materia seca con una desviación estándar de 0.26 y una mediana de 1.19 por ciento. El valor máximo de 2.30 por ciento se registró en el morfotipo Yuracc rayhuana (B85) y el valor mínimo de 0.81 por ciento en el morfotipo Wacapa ccallum (B124).

En general, los valores difieren con algunos autores. En Lituania Vaitkeviciene (2019) determinó un contenido superior (promedio de 2.78 %). Asimismo, Monteros et al. (2010), registraron un rango de 1.52 a 2.10 por ciento de potasio en la materia seca de tubérculos de variedades nativas de papa. Villacrés et al. (2009) reportaron un promedio general de 1.74 por ciento en 24 variedades de papas nativas. Rastovski et al. (1981) indican que el contenido de potasio en los tubérculos puede variar desde 1.39 a 2.82 por ciento.

Un posible motivo por el cual 80 morfotipos registran valores inferiores a 1.39 % sería por la característica de lixiviación del potasio en suelos de textura franca y franco arenosa (Bhattarai y Swarnima, 2016) como es el caso de la textura del suelo de Rayancancha (63 % de arena, 29 % de limo y 8 % de arcilla). A pesar de que presentar una disponibilidad de K alta (315 ppm) (Guerrero, 1998) y de ión K intercambiable. Además, Cabalceta et al. (2005) plantean que el descenso en el contenido total de K de los tubérculos evaluados a los 90 días puede deberse a una dilución de este elemento en la planta

El contenido promedio de *fósforo* en todos los morfotipos en estudio fue 0.10 por ciento con una desviación estándar de 0.04 y una mediana de 0.09 por ciento. El mayor valor (0.23 por ciento) se registró en el morfotipo Yuracc piña (B254) y valores menores a 0.01 por ciento (cerca de cero) en los morfotipos Añil papa (B55) y Puca alcco puñuy (B292).

Los resultados difieren de Navarre et al. (2009) quienes mencionan que el rango de fósforo en el tubérculo es de 0.13 a 0.6 por ciento del peso seco y estos valores son mayores a los registrados en el presente estudio. Este resultado puede deberse a la acidez y baja disponibilidad de fósforo (3.2 ppm de P) del suelo en donde se puede encontrar de forma insoluble lo que resultaría en una disponibilidad muy baja (Azcón-Bieto y Talón, 2013; Guerrero, 1998). Asimismo, el suelo presentó una saturación de aluminio muy alta lo que perjudica el desarrollo radicular del cultivo (Juárez et al., 2006; Andrade y Martínez, 2014).

No obstante, algunas variedades de plantas destacan por su capacidad y eficiencia de absorción de fósforo a través diferentes formas. Tales como la exudación radicular de ácidos orgánicos, la emisión de fosfatasa ácida que posibiliten una mayor presencia de P disponible para la planta, modificaciones en la densidad radicular (Villordón et al., 2020) o el mayor desarrollo radicular de la misma. (Azcón-Bieto y Talón, 2013; Munson y Nelson, 1990). Diferentes respuestas a la aplicación de fósforo han sido reportadas por Leonel et al. (2017) y Rozo y Núñez (2011) en el cultivo de papa.

4.2.2 Macroelementos secundarios:

La Figura 11 grafica los promedios, la mediana y la dispersión de los contenidos del Ca, Mg y S en donde se destaca el Mg por tener una cantidad superior de datos atípicos dentro de los macroelementos analizados.

El promedio general del contenido de *calcio* (Ca) fue 0.10 por ciento, con una desviación estándar de 0.03 y mediana de 0.09 por ciento. El valor máximo de 0.19 por ciento se registró en el morfotipo Azul papi juytu (B193) y el menor valor de 0.05 por ciento en los morfotipos (592), Rucchu juytu (B189) y (706).

Estos resultados son similares a lo reportado por Andre et al. (2007), al evaluar tubérculos de 74 variedades locales de papa cultivadas en Huancayo (Perú), encontraron contenidos de Ca en rangos equivalentes desde 0.11% a 0.03%, con un promedio de 0.05%. El cultivar con menor valor fue Alcca Tarma (Grupo Andigena) y el de mayor valor fue Jancko Anckanchi (Grupo Ajanhuiri). Asimismo, en España Rivero et al. (2003), registraron un valor equivalente mínimo de Ca de 0.05% en el cultivar tradicional Colorada (*Andigena*) y un máximo de 0.09% en el cultivar Peluca (*Tuberosum*).

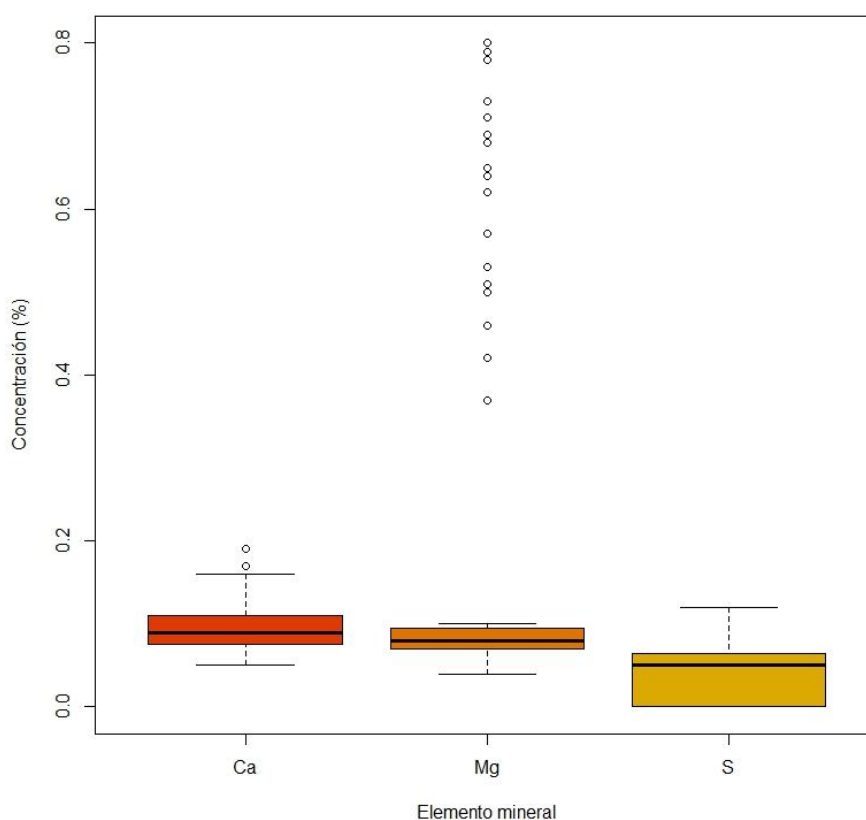


Figura 11. Cantidad de macroelementos secundarios en los tubérculos de los morfotipos de papas nativas

El suelo de Rayancancha al tener un nivel bajo de Ca intercambiable (2.27 meq/100g) y una saturación de Ca (29.86%) clasificada como baja (ICA, 1992), debió haberse encontrado de una forma ligeramente soluble en la zona de enraizamiento del cultivo (Anderson, 1999). Además, según Coraspe-León et al. (2009), el Ca es poco móvil dentro de la planta lo cual genera una mínima acumulación del elemento en el tubérculo. En su estudio solo el 0.95 por ciento del total de Ca en la planta se encontró en el tubérculo y menciona que la mayor absorción se dio en el peridermo y pelos absorbentes del estolón. Andre et al., (2007) consideran que la papa no puede ser considerada como fuente relevante de Ca, a pesar de estar presente en los tubérculos. Aun así, el Ca es beneficioso en los tubérculos porque aumenta su calidad y capacidad de almacenamiento (Castellanos, 2021). Además, en la dieta humana provee rigidez al esqueleto y su deficiencia puede producir raquitismo y osteoporosis.

El contenido promedio general de **magnesio** (Mg) fue 0.18 por ciento, con una desviación estándar de 0.22 y mediana de 0.08 por ciento. El valor máximo de 0.80 por ciento se registró en el morfotipo Yuracc tabardillo (B2) y el menor valor de 0.04 por ciento en el morfotipo Yuracc cantina (B67).

Estos valores tienen una mayor amplitud respecto a lo reportado por Ramos y Balladares (2018) en Ecuador donde registró que el contenido de Mg fue 0.10 % (Puca Shungo), 0.15% (Yana Shungo) y 0.11 % (Yema de huevo). Además, Cabalceta et al. (2005) reportaron 0.12 y 0.14 por ciento de Mg en el cultivar moderno de papa MNF-80 a los 80 y 135 días después de siembra.

Asimismo, valores inferiores a nuestro promedio se reportan en variedades o cultivares modernos por Rivero et al. (2003) desde un valor mínimo de 188 ppm (0.02%) en Colorada (*S. andigena*) y 246.2 ppm (0.02%) en Peluca (*S. tuberosum*). Similar ocurre al comparar los resultados con el contenido de Mg de camote (25 mg Mg/100 g MS) registrados por la U. S. Department of Agriculture (2019b). Por lo que, se puede observar que el contenido de Mg en tubérculos de los morfotipos nativos estudiados puede ser superior respecto a variedades modernas y otros órganos subterráneos de reserva, aun cuando el suelo se diagnosticó como deficiente en Mg.

El promedio general, la desviación estándar y la mediana del contenido de *azufre* (S) de los morfotipos fueron 0.04 por ciento, 0.03 y 0.05 por ciento respectivamente. El valor máximo de 0.12 por ciento se registró en el morfotipo (B215) y 26 morfotipos presentaron menos de 0.01 por ciento y el morfotipo B319 (Shullu juytu) no registró contenido de azufre. Una posible explicación del S como uno de los macroelementos de menor cantidad en el tubérculo puede deberse a su baja disponibilidad en el suelo a pesar de ser un elemento muy móvil por el floema (Subramanian et al., 2011).

4.2.3 Elementos minerales B, Cu, Na y Zn

La Figura 12 grafica los promedios, la mediana y la dispersión de los contenidos del B, Cu, Na y Zn. Los microelementos destacan una cantidad superior de datos atípicos respecto a los otros elementos minerales.

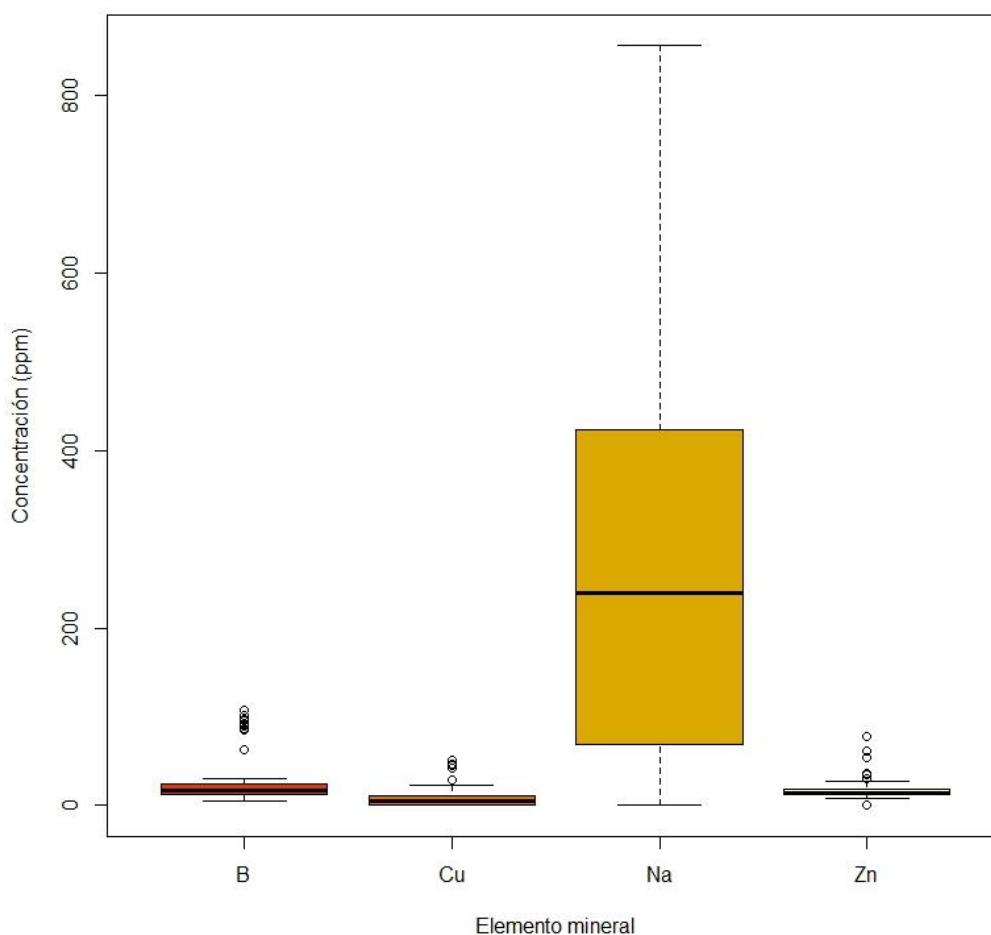


Figura 12. Cantidad de B, Cu, Na y Zn en los tubérculos de los morfotipos de papas nativas

El contenido de **boro** (B) promedio fue 27.23 ppm, 27.04 de desviación estándar y mediana de 17.17 ppm. La dispersión de valores fue amplia, el mayor valor de 107.15 ppm se registró en el morfotipo (B150) y el menor valor de 4.63 ppm en el morfotipo 287. Cabe destacar que 14 morfotipos mostraron valores superiores atípicos por posible error de laboratorio o eficiencia de absorción. Sin los datos atípicos el promedio sería 16.64 ppm. En general, los resultados obtenidos son superiores a lo determinado en Lituania por Vaitkevičienė (2019) quien registró cultivares con concentraciones desde 15.25 hasta 22.3 ppm y promedio de 18.04 ppm. Valor similar al 50 por ciento de los datos centrales del presente estudio (12.73 a 24.87 ppm). Por otro lado, Wszelaki et al. (2005) registraron contenido de B en papa en el rango de 16.9 y 20.2 ppm.

Según Mckean (1993), el boro es deficiente en el suelo si su contenido es menor a 1 ppm. Pérez et al (2008) indican que los valores de B ideales para el cultivo de papa en suelos de Colombia son 0.4 y 0.6 ppm. El B se lixivia con bastante facilidad en suelos ácidos y arenosos por lo que la deficiencia se debe al bajo suministro en lugar de su disponibilidad (Brady y Weil, 2014). Aunque en Rayancancha la mineralización de la materia orgánica es lenta (por lo que es limitante el B disponible para la planta), se tienen morfotipos con valores altos de boro en la materia seca del tubérculo.

El valor promedio, desviación estándar y mediana del contenido de **cobre** (Cu) de los 100 morfotipos en estudio fue 8.50 ppm, 10.53 y 5.28 ppm respectivamente. El valor máximo de 51.22 ppm se registró en el morfotipo (672) y el menor valor de 0.01 ppm en los morfotipos B148 (s/n) y B189 (Rucchu juytu).

Nuestros resultados registran valores de mayor amplitud respecto a otros estudios. Por ejemplo, Wierzbicka y Trawczyński (2011) y Wierzbicka (2012) mencionan que el contenido de Cu en el tubérculo puede variar de 3.0 a 13.7 mg.kg⁻¹. Baranowska et al (2017) indican que bajo suelos ligeramente ácidos (4.99) y ácido (5.91), el contenido de cobre en base al peso seco de los tubérculos de dos cultivares va de 6.228 a 6.583 mg.kg⁻¹. Rivera et al. (2003), determinaron que el mayor contenido de Cu fue 2.12 en Azucena (*S. andigena*) y el menor fue 0.54 ppm en Cara (*S. tuberosum*). Estos resultados pueden atribuirse a la acidez del suelo de Rayancancha y su influencia sobre la disponibilidad del Cu para la planta.

En cuanto al contenido promedio de *sodio* (Na) de 0.03 por ciento; con una desviación estándar de 0.02 y mediana de 0.02 por ciento, el mayor valor (0.09 por ciento) se registró en el morfotipo Guepsha (B27) y los valores menores al 0.01 por ciento se registraron en 24 morfotipos. Camire (2016) indica que normalmente los tubérculos de papa contienen bajos contenidos de Na.

Los resultados difieren de otras determinaciones del contenido de Na en tubérculos de papa. El estudio de Rivero et al (2003) registró un valor mínimo de 17.1 ppm (menor a 0.01%) en Palmera (*S. tuberosum*) y 66.6 ppm (0.01%) en Cara (*S. tuberosum*). Adicionalmente, en comparación al rango de 4 a 5 mg/100 g MS de Na registrado por el U. S. Department of Agriculture (2019a) en el tubérculo, se puede apreciar que el contenido de Na en 76 morfotipos de papas nativas de Huánuco son superiores.

El contenido de *zinc* (Zn) promedio en los tubérculos de los morfotipos fue de 17.04 ppm con una desviación estándar de 10.25 y mediana de 14.40 ppm. El valor máximo de 77.28 ppm se registró en el morfotipo Amarilla yema de huevo (B11). El menor valor de 0.05 ppm en el morfotipos B148 (s/n).

El promedio obtenido es diferente al 20.55 ppm y al rango de 9 a 44 ppm registrado por García (2021) en 40 clones de papas nativas de Cuzco (Perú). Por otra parte, Monteros et al. (2010) registran valores entre 26 a 51 ppm de Zn en cultivares de papas nativas en Bolivia. En Lituania se señala una concentración de Zn entre 24.6 a 35.8 ppm (Vaitkevičienė, 2019) y en Brasil Ortega (2014) obtuvo en promedio 19.53 ppm de Zn en cultivares comerciales.

Burgos et al. (2007) evaluó el contenido de Zn en 37 accesiones de papa nativa cultivadas en Huancavelica y determinó que la concentración de Zn varió de 8,3 (Chaucha roja- grupo Andigena) a 14,7 mg kg⁻¹ (Negra ojosa - grupo Stenotomum). Al respecto, Kromann et al. (2017), indica que la absorción (por el suelo) y translocación (por tallos y tubérculos) de este micronutriente puede variar significativamente entre cultivares.

El mismo autor menciona que la absorción de Zn del suelo es exitosa en cultivares diploides de Chaucha (Grupo Phureja) en comparación con lo que podría esperarse en los cultivares de tipo Tuberosum, posiblemente, por poseer una estructura radicular que mejore la continuidad funcional del xilema. Por lo tanto, podemos mencionar que el 80 % de los morfotipos estudiados se encuentra en el rango de 8.3 a 20.2 ppm, posiblemente favorecidos

por su estructura radicular y las condiciones muy ácidas del suelo de la C. C. Rayancancha que les permite tomar este micronutriente.

4.4 Relación entre los caracteres morfológicos de los tubérculos y la materia seca

En la Tabla 12 se observa el contenido promedio de elementos minerales en los grupos de morfotipos con diferentes colores de piel. De acuerdo con los promedios, se aprecia que el color de piel no presenta diferencias visibles en los contenidos de N, P, Ca, Na y S. De igual manera, se aprecia que los tubérculos con piel blanca tienen mayor contenido de K y Cu (ppm); los de piel amarilla tienen mayor concentración de Zn; los de piel rojiza mayor contenido de Mg y que los de piel oscura, bicolors y rojizas tienen mayor concentración de B. Este mineral es notoriamente menor en los morfotipos de piel blanca.

Tabla 12. Contenido promedio de minerales en los morfotipos agrupados de acuerdo con el color de piel

| Minerales | Color de piel | | | | |
|------------|---------------|-----------|---------|---------|-----------|
| | Blancas | Amarillas | Rojizas | Oscuras | Bicolores |
| Prom N | 0.09 | 0.09 | 0.1 | 0.08 | 0.1 |
| Prom P | 0.11 | 0.09 | 0.1 | 0.09 | 0.1 |
| Prom K | 1.71 | 1.26 | 1.16 | 1.17 | 1.22 |
| Prom Ca | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.13 | 0.1 |
| Prom Mg | 0.09 | 0.15 | 0.26 | 0.15 | 0.18 |
| Prom Na | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.03 |
| Prom S | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.04 |
| Prom Zn | 18.41 | 23.28 | 14.54 | 16 | 16.03 |
| Prom Cu | 16.8 | 8.15 | 11.7 | 6.7 | 7.39 |
| Prom B | 15.78 | 23.46 | 28.13 | 30.6 | 28.27 |
| Morfotipos | 4 | 16 | 16 | 11 | 53 |

Las diferencias en contenido de minerales entre los morfotipos con diferente color de pulpa (Tabla 13) se observan solamente entre los tubérculos de pulpa blanquecina que presentan mayor concentración de B y con porcentaje de K ligeramente superior. Por otra parte, el porcentaje de Mg es ligeramente superior en los morfotipos de pulpa pigmentada.

Tabla 13. Contenido de elementos en los tres grupos de colores de pulpa diferentes en los tubérculos

| Minerales | Color de pulpa | | |
|-----------|----------------|----------|-------------|
| | Blanquecina | Amarilla | Pigmentadas |
| Prom N | 0.1 | 0.09 | 0.1 |
| Prom P | 0.11 | 0.09 | 0.09 |
| Prom K | 1.3 | 1.19 | 1.18 |
| Prom Ca | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Prom Mg | 0.15 | 0.18 | 0.24 |
| Prom Na | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| Prom S | 0.04 | 0.05 | 0.03 |
| Prom Zn | 16.09 | 18.69 | 16.16 |
| Prom Cu | 8.89 | 10.35 | 5.1 |
| Prom B | 36.88 | 20.03 | 21.95 |
| Cantidad | 40 | 36 | 24 |

En la Tabla 14 se destaca que los tubérculos alargados tienen mayor contenido de Zn, Cu y B. Los otros minerales se encuentran en cantidades semejantes entre los morfotipos con diferente forma.

Tabla 14. Contenido de elementos en los tres grupos de forma diferentes en los tubérculos

| Elemento | Forma | | |
|----------|----------|---------|----------|
| | Alargada | Redonda | Especial |
| Prom N | 0.1 | 0.09 | 0.09 |
| Prom P | 0.1 | 0.09 | 0.1 |
| Prom K | 1.36 | 1.22 | 1.21 |
| Prom Ca | 0.09 | 0.1 | 0.1 |
| Prom Mg | 0.19 | 0.19 | 0.18 |
| Prom Na | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Prom S | 0.06 | 0.04 | 0.04 |
| Prom Zn | 20.41 | 15.05 | 18.24 |
| Prom Cu | 10.47 | 7.78 | 8.74 |
| Prom B | 33.99 | 28.27 | 24.48 |
| Cantidad | 11 | 44 | 45 |

En la figura 13 se observa que los grupos de fenotipos según el color de *piel* y pulpa son las variables con mayor probabilidad de predicción del contenido promedio de N. Es decir, si la piel es oscura, es probable que los morfotipos tenga un contenido promedio de N de 0.094 por ciento, ligeramente menor a los de piel amarilla, blanca, bicolor y rojizos. Dentro de estos, los de pulpa amarilla y blanquecina, predicen un menor porcentaje de N que los de pulpa pigmentada.

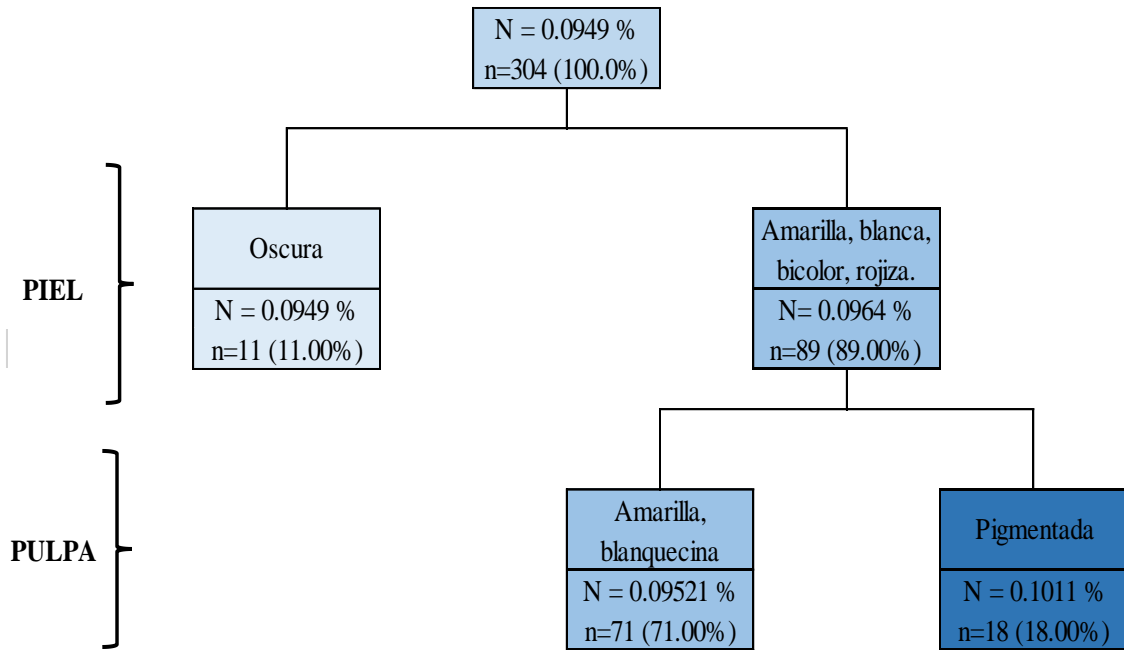


Figura 13. Modelo predictivo de la relación entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de nitrógeno

En la figura 14 se observa carácter fenotípico color de *pulpa* como la variable que inicialmente predice el contenido promedio de P. Si la pulpa es amarilla o pigmentada, es más probable que el morfotipo tenga un ligero menor contenido de P (0.09 por ciento) que los morfotipos con pulpa blanquecina (P = 0.107 por ciento).

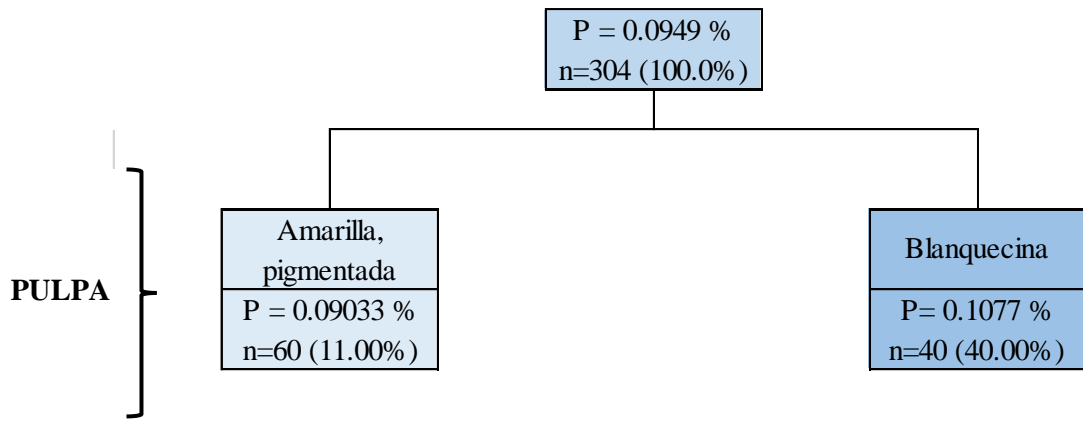


Figura 14. Modelo predictivo de la relación entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de fósforo

En la figura 15 se observa el modelo de árbol que indica al **caracter fenotípico** color de *piel* como la variable que predice mejor el contenido promedio de K. Si la piel es bicolor, oscura o rojiza, es más probable que el morfotipo tenga un contenido de K menor (1.2 por ciento) respecto a los morfotipos de piel amarilla o blanca (1.35 por ciento).

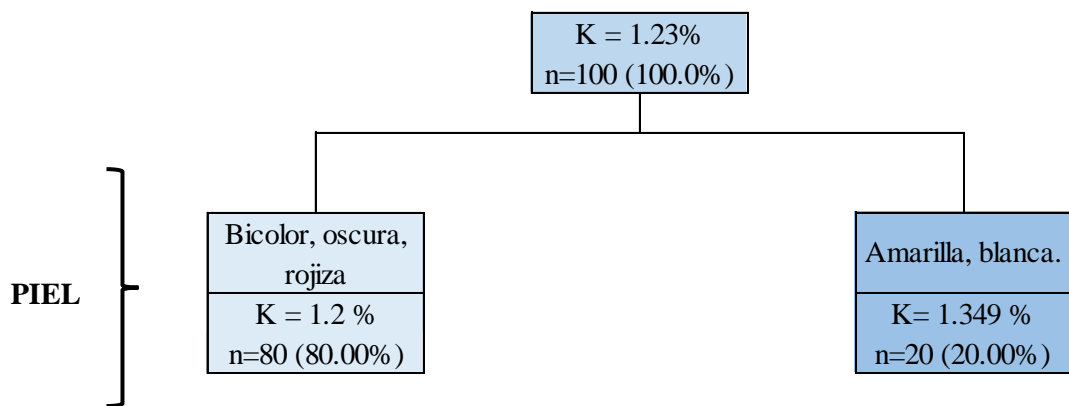


Figura 15. Modelo predictivo de la relación entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de potasio

De igual manera, el **caracter fenotípico** color de *piel* es la variable que inicialmente predice mejor el contenido promedio de Ca en los tubérculos en el modelo de árbol (figura 16). Si la piel es amarilla, blanca, bicolor o rojiza, es más probable que el morfotipo tenga un contenido de Ca menor (0.09 por ciento) respecto a los morfotipos de piel oscura (0.13 por ciento).

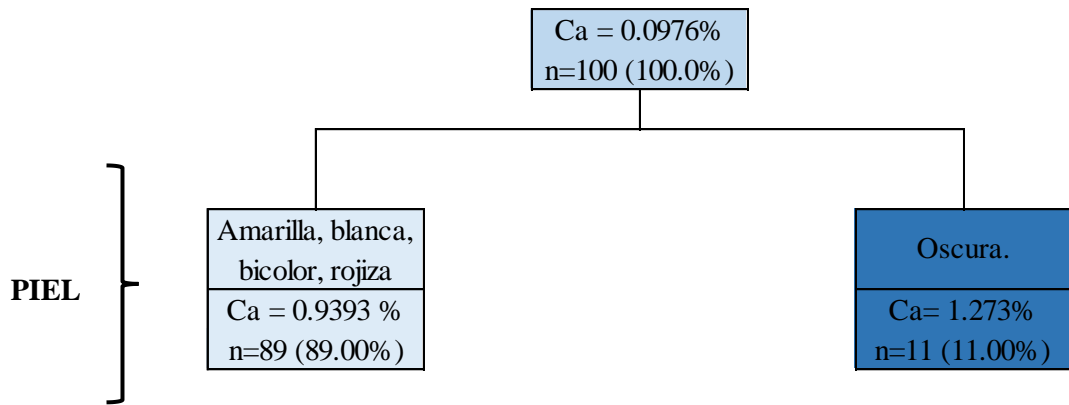


Figura 16. Modelo predictivo de la relación entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de calcio

En la figura 17, se observa el modelo de árbol que indica que el color de *piel* es la variable que inicialmente predice mejor el contenido promedio de Mg en los tubérculos. Si la piel es amarilla, blanca, bicolor u oscura, es más probable que el tubérculo tenga un contenido de Mg menor (0.17 por ciento) en comparación a los tubérculos con piel rojiza cuyo contenido promedio de Mg es mayor (0.26 por ciento).

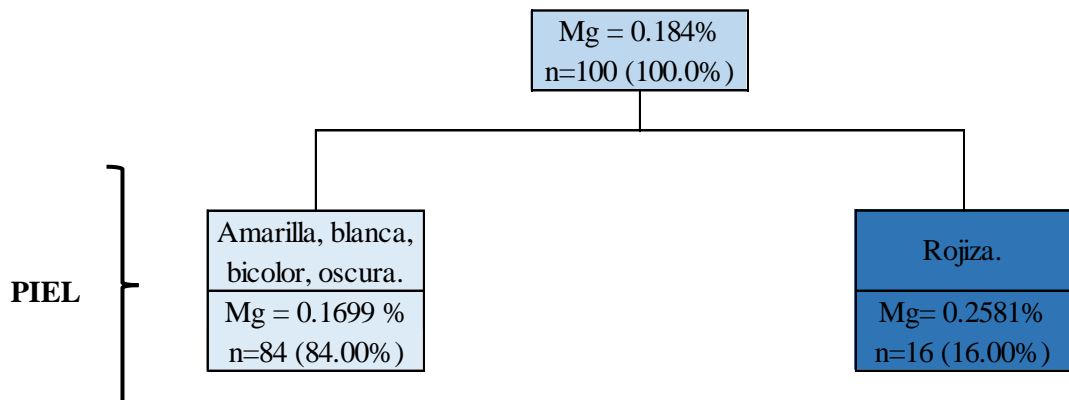


Figura 17. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de magnesio

El color de *piel* es nuevamente el caracter fenotípico que mejor predice el contenido promedio de Na en los tubérculos según el modelo de árbol (figura 18). Si la piel es amarilla, blanca, bicolor o rojiza, es más probable que el morfotipo tenga un contenido de Na menor (0.025 por ciento) que los morfotipos con piel oscura (0.038 por ciento).

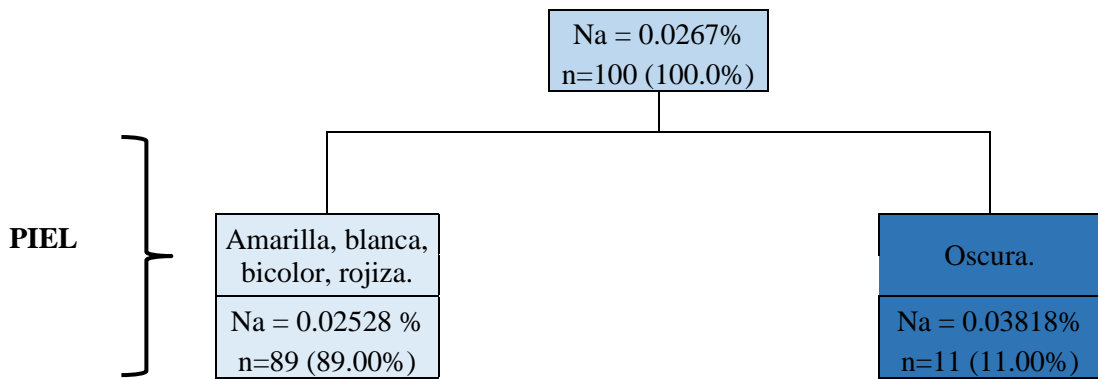


Figura 18. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de sodio

En la figura 19, se observa que la *forma* del tubérculo es la variable que inicialmente predice el contenido promedio de S en los morfotipos en el modelo de árbol. Si la forma es especial o redondeada, es más probable que el tubérculo tenga un contenido de S menor (0.04 por ciento) que los morfotipos con forma alargada cuyo contenido promedio de S es mayor (0.06 por ciento).

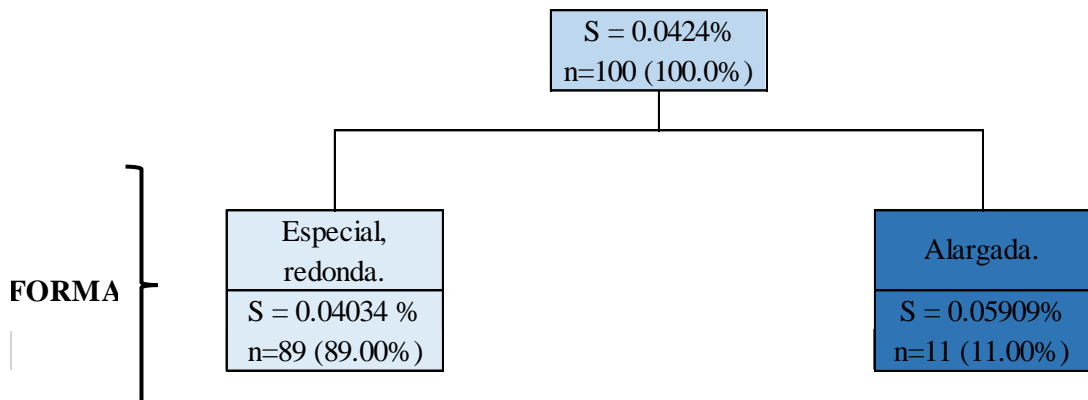


Figura 19. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de azufre

Por otro lado, en la figura 20 se observa el modelo de árbol que indica que el color de *pulpa* es la variable que inicialmente predice el contenido promedio de B en los tubérculos. Si la pulpa es amarilla o pigmentada, es más probable que el morfotipo tenga un contenido de B numéricamente menor (20.8 ppm) que los tubérculos con pulpa blanquecina (36.88 ppm).

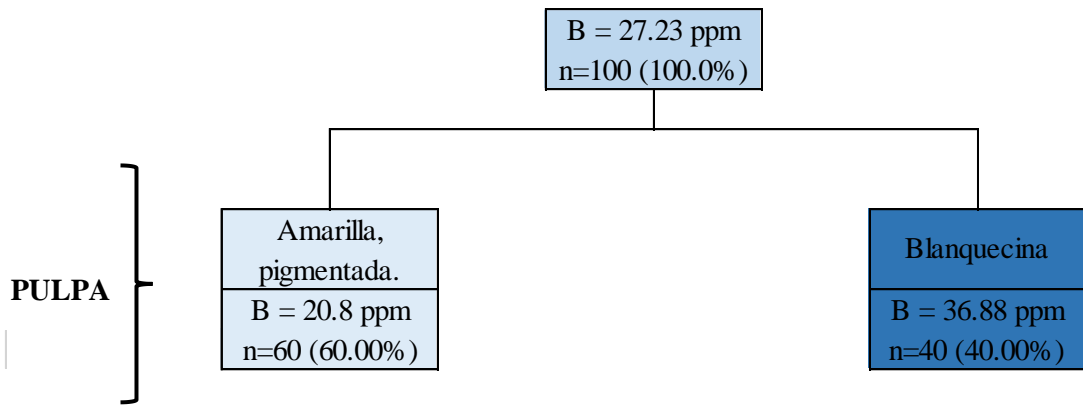


Figura 20. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de boro

En la figura 21 se observa al caracter fenotípico color de *piel* como la variable que inicialmente predice el contenido promedio de Cu en los tubérculos. Si la piel es amarilla, bicolor u oscura, es más probable que el morfotipo tenga un contenido promedio de Cu menor (7.45 ppm) respecto a los tubérculos con piel blanca o rojiza (12.72 ppm).

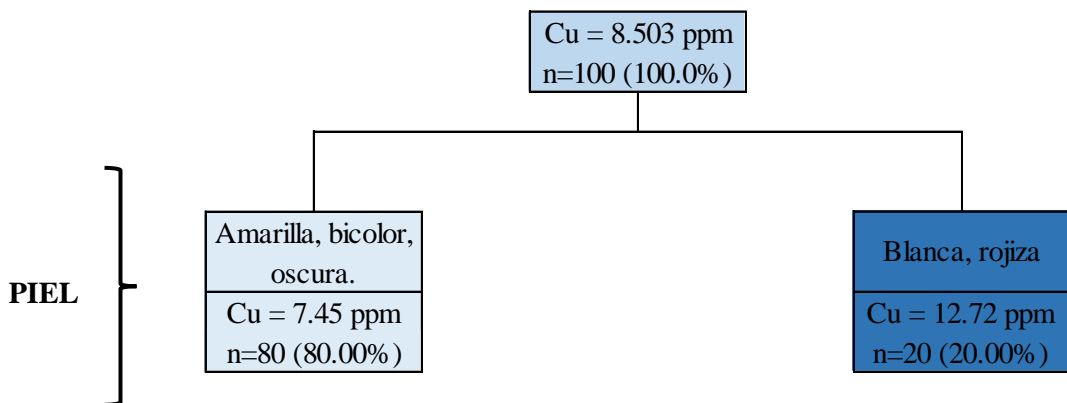


Figura 21. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de tubérculos y el contenido de cobre

En la figura 22 se observa al caracter fenotípico color de *piel* como la variable que inicialmente predice el contenido promedio de Zn en los tubérculos. Si la piel es blanca, bicolor, oscura o rojiza, es más probable que el morfotipo tenga un contenido promedio de Zn mucho menor (15.85 ppm) que los tubérculos con piel amarilla (23.28ppm).

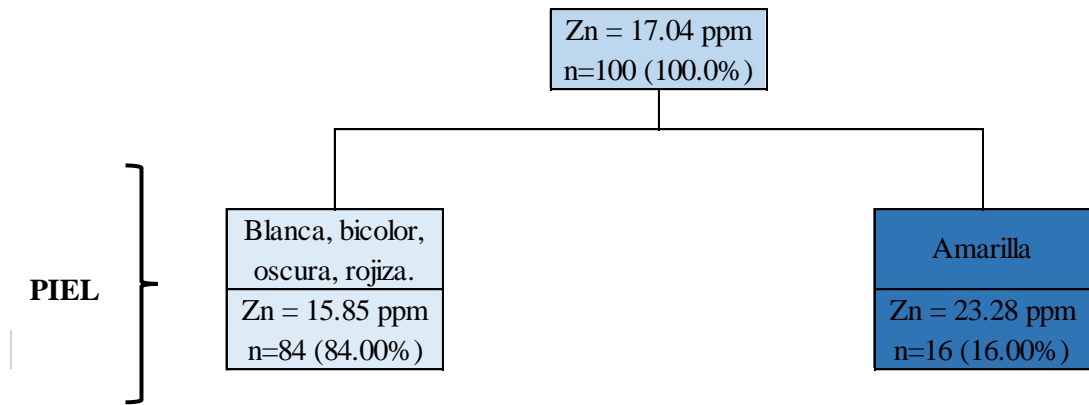


Figura 22. Modelo de predicción entre los caracteres fenotípicos de los tubérculos y el contenido de zinc

Aunque no se disponía de datos para investigar más a fondo, Subramanian et al. (2011), menciona que la distribución de los minerales varía en el tubérculo. Por un lado, las altas concentraciones de algunos minerales en la piel pueden indicar la absorción directa del suelo a través del peridermo. Por el otro, los diferentes patrones en la distribución de los minerales en la pulpa son consistentes con la descarga del floema en el tubérculo y su movimiento. Por esta razón, es posible que la mayor absorción de Zn y Cu se diera a través del peridermo en tubérculos de piel blanca, rojiza y amarilla, mientras que la mayor absorción de B se diera vía floema en tubérculos de pulpa blanquecina.

4.5 Relación entre materia seca y elementos minerales del tubérculo

En la tabla 15 se destaca que el promedio porcentual de Cu en tubérculos con materia seca baja y media es hasta 13 veces inferior que los grupos restantes. Se observa que en tubérculos con muy bajo porcentaje de materia seca la concentración de B es hasta ocho veces mayor. A pesar de ello, no se encuentra una tendencia ascendente o descendente del contenido de materia seca según los elementos minerales. Los grupos de materia seca bajo y medio poseen valores superiores de Mg entre dos a tres veces más que los restantes. El valor numérico del resto de elementos minerales es semejante entre los cinco grupos.

Tabla 15. Promedio de elementos minerales según contenido de materia seca

| Mineral | Contenido de materia seca | | | | |
|----------|---------------------------|-------|-------|-------|----------|
| | Muy bajo | Bajo | Medio | Alto | Muy alto |
| Prom N | 0.09 | 0.10 | 0.12 | 0.09 | 0.08 |
| Prom P | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.08 | 0.09 |
| Prom K | 1.48 | 1.21 | 1.15 | 1.15 | 1.18 |
| Prom Ca | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.09 | 0.08 |
| Prom Mg | 0.13 | 0.24 | 0.29 | 0.15 | 0.10 |
| Prom Na | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Prom S | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.05 |
| Prom Zn | 13.24 | 17.16 | 18.16 | 18.40 | 18.09 |
| Prom Cu | 11.96 | 1.94 | 2.37 | 13.59 | 12.03 |
| Prom B | 65.98 | 19.48 | 13.55 | 18.92 | 18.29 |
| Cantidad | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |

En la figura 23, se presenta los valores del coeficiente de correlación de Pearson (R). Se aprecia que los valores R de correlación entre el P, K, Ca y P con la materia seca representan una correlación baja mientras que, el R entre el B con la materia seca representa una correlación moderada.

En general, Marschner (1995) citado por Simson, Tartlan, Nugis y Eremeev (2016) menciona que los iones de potasio condicionan la presión osmótica. Por lo tanto, a un mayor suministro de K es posible que el contenido de materia seca disminuya porque se intensifica la absorción de agua en este órgano por el aumento de la concentración de sal tisular. Lo expuesto, explicaría la correlación negativa entre el contenido de K y la materia seca de los tubérculos en estudio. Además, Laboski y Kelling (2007) destacan que el efecto de los nutrientes secundarios y micronutrientes en el contenido de materia seca es considerado menor respecto al K.

No obstante, en el presente estudio los valores de R (exceptuando el B) son bajos por lo que se puede decir que estos elementos minerales no poseen una importante asociación con el contenido de materia seca.

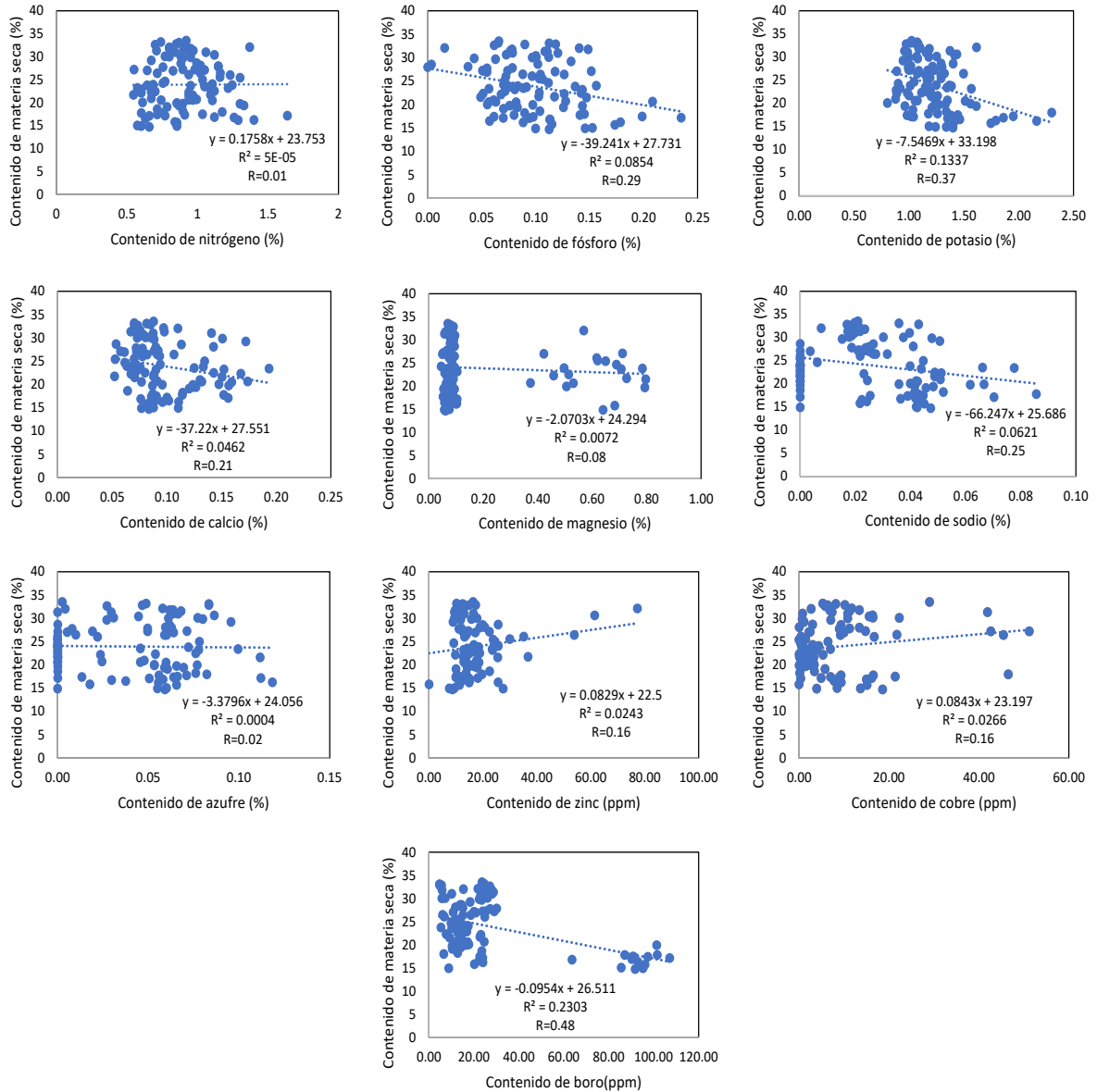


Figura 23. Correlación del contenido de elementos minerales y el contenido de materia seca de los tubérculos

V. CONCLUSIONES

1. Las papas nativas de Huánuco presentan un amplio rango en el contenido de materia seca que varía desde 14.7 hasta 33.5 por ciento.
2. Entre los morfotipos de papas nativas existe una amplia diferencia en la acumulación de minerales en la materia seca de sus tubérculos. El Mg y los microelementos estudiados presentan mayores valores a lo anteriormente reportado en variedades comerciales y nativas.
3. La piel y pulpa amarilla de los tubérculos son características fenotípicas asociadas a un alto contenido de materia seca.
4. No se encuentra suficiente evidencia de que los caracteres fenotípicos forma, color de piel y de pulpa de los tubérculos sean características predictivas del contenido de elementos minerales.
5. No se encuentra una alta correlación entre el contenido de materia seca con los elementos minerales. La correlación es muy baja y positiva con el contenido de N, Cu y Zn; muy baja y negativa con el contenido de Mg y S; además, es baja y negativa con los elementos P, K, Ca y Na, y moderada negativa con el B.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar pruebas de fritura con los morfotipos cuyo contenido de materia seca fue superior al 20 por ciento.

Tomar en cuenta la oportunidad de cosecha en los futuros trabajos sobre materia seca.

Evaluar los morfotipos con mayor contenido de Mg y microelementos puesto que podría ser de interés para los productores de Rayancancha e investigadores por el aporte nutritivo de estos elementos minerales contenidos en los tubérculos.

Evaluar el contenido de materia seca y nutrientes de los morfotipos en otros tipos de sistema de producción

Evaluar nuevos usos comerciales con los morfotipos de piel y pulpa amarilla.

Realizar las evaluaciones con otros compuestos de interés nutricional como el ácido ascórbico y fenoles.

Analizar la cantidad de metales pesados como el Cd, Al y Mn en los tubérculos de papas nativas cultivados en suelo ácido.

Agrupar a los morfotipos según sus especies y luego relacionar su contenido de elementos minerales con la materia seca.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, M. (2001). Oportunidades para el Desarrollo de Productos de Papas Nativas en el Perú. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 58-79. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512093>
- Anderson, K. A., Magnuson, B. A., Tschirgi, M. L. y Smith, B. (1999). Determining the Geographic Origin of Potatoes with Trace Metal Analysis Using Statistical and Neural Network Classifiers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(4), 1568–1575. <https://doi.org/10.1021/jf980677u>
- Andrades, M. y Martínez, M.E. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267902.pdf>
- Andre, C. M., Ghislain, M., Bertin, P., Oufir, Herrera, M., Hoffmann, L., Hausman, J.-F., Larondelle, Y. y Evers, D. (2007). Andean Potato Cultivars (*Solanum tuberosum*L.) as a Source of Antioxidant and Mineral Micronutrients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 366–378. <https://doi.org/10.1021/jf062740i>
- Andreu, M. y da Silva, A. (2007). Relationship between Potato Skin Color and Characteristics of Industrial Importance. *Agricultura Técnica*, 67(1), 72-77. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000100009>
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Universidad de Barcelona. https://www.academia.edu/32043041/Fundamentos_de_Fisiologia_Vegetal_Azc%C3%B3n_Bieto_2ed

- Banderas, M. (2012). *Análisis proximal de los principales componentes nutricionales de arroz pulido, harina de trigo de flor, maíz amarillo y papa chola* [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/5359>
- Baranowska, A., Zarzecka, K., Gugała, M. y Mystkowska, I. (2017). Contents of zinc, copper and manganese in potato tubers depending on the ways of application of the soil fertilizer UGMAX. *Journal of Ecological Engineering*, 18(1), 99–106 <https://doi.org/10.12911/22998993/66250>
- Bernet, T., Delgado, O. y Sevilla, M. (2008). *Informe final: Centros de acopio de papa. Factibilidad de promover e implementar este concepto en la sierra peruana*. CAPAC Perú, Ministerio de Agricultura (MINAG). https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/congreso_papa/centros_de_acopio_de_la_papa.pdf
- Biodiversity Internacional (2009). *Aprendiendo sobre la importancia de la agrobiodiversidad y el papel de las universidades*. <https://www.biodiversityinternational.org/e-library/publications/detail/aprendiendo-sobre-la-importancia-de-la-agrobiodiversidad-y-el-papel-de-las-universidades/>
- Bhattarai, B. y Swarnima K.C. (2016). Effect of Potassium on Quality and Yield of Potato tubers – A Review. *SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science*, 3(6), 7-12. <https://doi.org/10.14445/23942568/IJAES-V3I6P103>
- Brady, N. y Weil, R. (2014). *Elements of the Nature and Property of Soils*. (3.ª ed.). Pearson Education Limited.
- Burgos, G., Amorós W., Morote, M., Stangoulis, J y Bonierbale, M. (2007). Iron and zinc concentration of native Andean potato cultivars from a human nutrition perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87 (4), 668 – 675. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2765>

- Cabalceta, G., Saldias, M. y Alvarado, A. (2005). Absorción de nutrimentos en el cultivar de papa MNF-80. *Agronomía Costarricense*, 29 (3). 107-123. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43626961014>
- Cabrera, H y Escobal, F. (2002). *Cultivo de la papa en la Región Cajamarca*. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/930>
- Camarena Mayta, F., Chura Chujica, J. y Blas Sevillano, R. (2012). *Mejoramiento genético y biotecnológico de plantas*. Universidad Nacional Agraria La Molina- UNALM y AGROBANCO. https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/MEJORAMIENTO_GENETICO_Y_BIOTECNOLOGICO_DE_PLANTAS.pdf
- Camire, M. E. (2016). Potatoes and Human Health. En Singh, J. y Kaur, L. (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 685-704). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00023-6>
- Capezio, S., Huarte, M. y Carrozzi, L. (1994). Selección por peso específico en generaciones tempranas en el mejoramiento de la papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 5(6). 54-63. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512005>
- Castellanos Ruiz, K. (2021). *Calcio, magnesio y azufre, consumo y distribución en papa (Solanum tuberosum L. Grupo Andigenum)*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80640>
- Centro de Desarrollo Integral de Comunidades-CEDINCO y Instituto Continental. (2012). *Papas nativas en la gastronomía gourmet*. http://www.continental.edu.pe/documentos/recetario_papas_nativas.pdf.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. (2019). *Conservación y uso de cultivos*. <https://ciat.cgiar.org/lo-que-hacemos/conservacion-y-uso-de-cultivos/?lang=es>

- Centro Internacional de la Papa-CIP. (2018). *SEPIA XVII Mesa Tematica: Experiencias latinoamericanas de aplicación del enfoque de cadenas de valor inclusivas*. Cajamarca, Perú. Centro Internacional de la Papa. ISBN 978-92-9060-489-1. 94 p.
- Centro Internacional de la Papa-CIP. (2017). *Hechos y cifras sobre la papa*. <https://hdl.handle.net/10568/87957>
- Centro Internacional de la Papa-CIP. (25 de mayo, 2012). *Comer papas nativas es comer nutrición*. <https://cipotato.org/es/sin-categorizar/comer-papas-nativas-es-comer-nutricion/>
- Centro Internacional de la Papa-CIP. (2007). *Procedures for standard evaluation trials of advanced potato clones*. International Potato Center.
- Centro Internacional de la Papa-CIP; Asociación Pataz y Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA. (2015). *Catálogo de variedades de papa nativa de Chugay, La Libertad - Peru. Catalog of ancestral potato varieties from Chugay, La Libertad - Peru*. Lima (Peru). Centro Internacional de la Papa (CIP). 199 p.
- Chirinos Loayza, D. (2016). *Clasificación de 70 cultivares de papas nativas sobre la base de materia seca y almidón de la comunidad de Taucca, Chinchero Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata. (2008). *Avances en ciencia y desarrollo de la patata para una agricultura sostenible: resúmenes de contribuciones*. Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco Departamento de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.nasdap.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informacion/otras_publicaciones/es_dapa/adjuntos/Avances_patata.pdf?msclkid=3a2bb74ab48e11ec9bb6a256edc60a0f
- Coraspe- León, H., Muraoka, T., Ide Franzini, V., De Stefano, S. y Do Pardo, N. (2009). Absorción de macronutrientes por plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la producción de tubérculo-semilla. *Interciencia*, 34(1), 57-63.

<https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/057-c-CORASPE-7.pdf?msclkid=bedd4fa1aaf511ecac26c5865b964830>

Cortez, R y Hurtado, G. (2002). *Guía técnica: Cultivo de la papa*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). <http://istphuancane.pe.tripod.com/docs/agrop/papa.pdf>

De la Cruz Pinado, W. (2021). *Homologación de papas nativas cultivadas en huánuco para la implementación de un banco regional de germoplasma* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5133/de-la-cruz-pinado-wilmer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Devaux, A., Goffart, J.-P., Kromann, P., Andrade-Piedra, J., Polar, V. y Hareau, G. (2021). The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems. *Potato Research*, 64. 681–720. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>

Devaux, A., Ordinola, M., Hibon, A. y Flores, R. (2010). *El sector papa en la región andina: Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador y Perú)*. Centro Internacional de la Papa. p. 204. <https://doi.org/10.4160/9789290603849>

Dionisio Laberio, G. K. (2018). *Caracterización morfológica de accesiones de papas nativas de la Región Ancash en el Distrito de Marcará – Carhuaz* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2207>

Douches D. y Jastrzebski, K. (1993). *Potato Solanum tuberosum L.* En Kalloo, G. y Bergh, B. O. (Ed.), *Genetic Improvement of Vegetable Crop* (pp. 605-644). Pergamon Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00023-6>

- Edelnor (2008). *Todo sobre la papa* (1ª ed., 101 pp).
https://issuu.com/elrincondeendesadocs/libro_la_papa-edelnoractualizado
- Egúsqiza Bayona, R. (2015). *Catálogo de papas nativas cultivadas en Huánuco*. (1ª ed., 312 pp). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú
- Egúsqiza Bayona, P. (2014). *La papa en el Perú*. (2ª ed., 200 pp). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Egúsqiza, R.; Rocano, W.; Egúsqiza, R.; Salinas, J. y Anampa, R. (2012). *Efectos ambientales en la calidad de la papa nativa amarilla tumbay (Solanum goniocalix Juz et. Buk) en la región Huánuco*. (1ª ed., 99 pp). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Egúsqiza, B.R; Egúsqiza, P.R. (2011). *Calidad de fritura de las papas nativas con pulpa pigmentada cultivadas en Huánuco*. (1ª ed., 73 pp). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- 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. 10.5897/AJB11.042
- Empresa de Mercados Mayoristas S. A.-EMMSA. (2022). *Sistema de precios y volúmenes - EMMSA. Serie histórica por volumen de los principales productos*. Emmsa sistema web. Recuperado el 24 de agosto del 2021 en http://old.emmsa.com.pe/emmsa_spv/website/rpt04_out.php
- Empresa de Mercados Mayoristas S. A.-EMMSA. (2021). *Boletín Estadístico. Reporte Estadístico Trimestral 2020*. Recuperado el 24 de agosto del 2021 en http://old.emmsa.com.pe/app_estadisticaboltri/index.php
- Engels, J.M.M. y Visser, L. (2007). *Guía para el manejo eficaz de un banco de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 6*. Bioversity International, Roma, Italia.

https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Gu%C3%ADa_para_el_manejo_eficaz_de_un_banco_de_germoplasma_1280.pdf

Ezeta, F.N. y McCollum, R.E. (1972). Dry-matter production, and nutrient uptake and removal by *Solanum andigena* in the Peruvian Andes. *American Potato Journal*, 49, 151–163. <https://doi.org/10.1007/BF02861595>

Fano, H., Ordinola, M., Velasco, C. (2011). *Agregando valor a las papas nativas en el Perú: Un análisis desde el enfoque de sistemas de innovación*. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 97 pp. <https://doi.org/10.4160/9789290604006>

Feltran, J, Borges, L y Lopes, R. (2004). Technological quality and utilization of potato tubers. *Scientia Agricola*, 61(6), 598-603. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000600006>

Food and Agriculture Organization-FAO. (2008). *La papa y la biodiversidad*. <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/biodiversidad.html>

Fonseca, C., Burgos, G., Rodríguez, F., Muñoa, L. y Ordinola, M. (2014). *Catálogo de variedades de papa nativa con potencial para la seguridad alimentaria y nutricional de Apurímac y Huancavelica*. Centro Internacional de la Papa. <https://doi.org/10.4160/9789290604549>

García, L. (2008). *Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en el Perú. Informe final. Proyecto de cooperación UE-Perú en materia de asistencia técnica relativa al comercio - apoyo al programa estratégico nacional exportaciones (peru 2003-2013)*. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/estudio_caracterizacion.pdf

García Meza, P. R. (2021). *Morfología y concentración de hierro y zinc en tubérculos de clones avanzados de papas nativas (Solanum spp.) en Cuzco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5065/garcia-meza-pablo-rodrigo.pdf?sequence=3>

Garrido, S. (1994). *Interpretación de análisis de suelos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf

Giletto, C., Monti, M., Ceroli, P. y Echeverría, H. (2013). Efecto de la fertilización con nitrógeno sobre la calidad de tubérculos de papa (var. Innovator) en el sudeste bonaerense. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14 (2), 217-222. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81329290016.pdf>

Guerrero, J. (1998). Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones. -universidad - nacional Agraria La Molina. 16 pp.

Haverkort, A. J. (1990). Ecology of potato cropping systems in relation to latitude and altitude. *Agricultural Systems*, 32(3), 251–272. [https://10.1016/0308-521x\(90\)90004-a](https://10.1016/0308-521x(90)90004-a)

Hervé, D., Mita, V. y Coûteaux, M. M. (2006). Construcción de un balance de nitrógeno en cultivos de papa bajo rotación con largo descanso. *Ecología en Bolivia*, 41(3), 133-153. <http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v41n3/v41n3a10.pdf>

Hill, D., Nelson, D., Hammond, J. y Bell, L. (2021). Morphophysiology of Potato (*Solanum tuberosum*) in Response to Drought Stress: Paving the Way Forward. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.597554>

Horton, D. y Samanamud, K. (2017). *La revolución de la papa nativa en Perú*. Resumen de innovación 2 de Papa Andina. CGSpace. <https://hdl.handle.net/10568/98906>

Instituto Colombiano Agropecuario-ICA. (1992). *Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación*. Manual de Asistencia Técnica No. 25. Bogotá, Colombia. ICA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/14124>

Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA. (2003). *Calidad de consumo en variedades de papa. Informe de la Jornada realizada el 12 de marzo de 2003 en el Salón de Actos del Mercado Modelo. Montevideo.*

http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/lb/pol/2003/calidad_papa.pdf

Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria-INIEA. (2006). *Manual para caracterización in situ de cultivos nativos conceptos y procedimientos.*

<https://hdl.handle.net/20.500.12955/103>

Jiménez, F. (2017). La Importancia de la nutrición con magnesio y azufre en el cultivo de la papa. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 26. 30-34.

[http://www.ipni.net/publication/ia-](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2D071476E9B2B1B80325815D00646E09/$FILE/30.pdf)

[lacs.nsf/0/2D071476E9B2B1B80325815D00646E09/\\$FILE/30.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2D071476E9B2B1B80325815D00646E09/$FILE/30.pdf)

Juárez Sanz, M., Sánchez Andreu, J. y Sánchez Sánchez, A. (2006). Reacción del Suelo. pH. In TD, Textos Docentes. Química del suelo y medio ambiente (pp. [357]-391).

Publicaciones de la Universidad de Alicante.

<https://link.gale.com/apps/doc/CX1833600019/GVRL?u=lamolina&sid=bookmark-GVRL&xid=f05b302f>

Kromann, P., Valverde, F., Alvarado, S., Vélez, R., Pisuña, J., Potosí, B., Taípe, A., Caballero, D., Cabezas, A. y Devaux, A. (2017). ¿Can Andean potatoes be agronomically biofortified with iron and zinc fertilizers?. *Plant Soil*, 411, 121-138.

<https://doi.org/10.1007/s11104-016-3065-0>

Laboski, C. A. M. y Kelling, K. A. (2007). Influence of fertilizer management and soil fertility on tuber specific gravity: a review. *American Journal of Potato Research*,

84(4), 283–290. <https://doi.org/10.1007/BF02986240>

Landivar Rodríguez, M. A. (2022). *Pérdida de peso y brotación de tubérculos de papa nativa y su relación con caracteres fenotípicos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional Agraria La Molina.

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5387/landivar-rodriguez-manuel-anthony.pdf?sequence=1>

Leonel, M., do Carmo, E. L., Fernandes, A. M., Soratto, R. P., Ebúrneo, J., Garcia, É. L. y Dos Santos, T. (2017). Chemical composition of potato tubers: the effect of cultivars and growth conditions. *Journal of food science and technology*, 54(8), 2372–2378. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2677-6>

Marschner, H. (1995). The Soil-Root Interface (Rhizosphere) in Relation to Mineral Nutrition. En Marschner, H (Ed.), *Mineral Nutrition of Higher Plants* (pp. 537–595). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-012473542-2/50017-1>

Mckean, S. J. (1993). *Manual de análisis de suelo y tejido vegetal: una guía técnica y práctica de metodologías*. CIAT. <https://hdl.handle.net/10568/70025>

Mendoza-Dávalos, K., Sanabria-Quispe, S., Pérez-Porras, W. y Cosme-De La Cruz, R. (2021). Enmiendas orgánicas y su efecto en las propiedades de suelos alto andinos cultivados con papa nativa (*Solanum goniocalyx* Juz.et Buk.). *Agroindustrial Science*, 11(2). 221-229. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.12>

Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI. (2018). *Plan Nacional de Cultivos (Campaña Agrícola 2018-2019)*. <https://agroarequipa.gob.pe/images/AGRICOLA/PLAN%20NACIONAL%20DE%20CULTIVOS%202018-2019%20APROBACION.compressed.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI. (2017). *Papa: Características de La Producción Nacional y de La Comercialización en Lima Metropolitana*. <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/MIDAGRI/369?locale=en>

Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI. (2015). *Acrónimos y Glosario de Términos 2015-2021*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/pnapes/glosario141015.pdf>

- Ministerio de Agricultura y riego-MINAGRI y Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA. (2019). *Sistematización de la Experiencia de los Subproyectos de Papa Financiados por el Programa Nacional de Innovación Agraria*. <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/MIDAGRI/678>
- Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI y Sierra y Selva Exportadora. (2020). *Análisis de Mercado - Papa 2020*. <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/MIDAGRI/841>
- Ministerio del Ambiente-MINAM. (2019). *Línea base de la diversidad genética de la papa peruana con fines de bioseguridad*. <https://aulaambiental.minam.gob.pe/linea-base-de-la-diversidad-genetica-de-la-papa-peruana-con-fines-de-bioseguridad/>
- Monteros, C., Yumisaca, F., Andrade-Piedra, J. y Reinoso, I. (2010). *Cultivares de papas nativas, sierra centro y norte del Ecuador: Catálogo etnobotánico, morfológico, agronómico y calidad*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP); Centro Internacional de la Papa (CIP); Fontagro; Iniciativa Papa Andina; Proyecto InnovAndes. <https://hdl.handle.net/10568/73247>
- Munson, R. y Nelson, W. (1990). Principles and Practices in Plant Analysis. En R.L. Westerman (Ed.), *Soil Testing and Plant Analysis* (pp. 359-387). <https://doi.org/10.2136/sssabookser3.3ed.c14>
- Navarre, D.A.; Goyer, A. y Shakya, R. (2009). Nutritional value of potatoes: Vitamin, phytonutrient and mineral content. En Singh, J y Kaur, L (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 395-424). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374349-7.00014-3>
- Obregón, A. y Repo, R. (2013). Evaluación fisicoquímica y bromatológica de cuatro variedades nativas de papa (*Solanum* spp.). *Ciencia e investigación*, 16(1), 38-40. <https://doi.org/10.15381/ci.v16i1.8634>
- Ortega Ruiz, D. E. (2014). *Evaluación del comportamiento agronómico de genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) con altos contenidos de hierro y zinc en dos localidades*

de la sierra ecuatoriana. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2862>

Peceros Casas, H. D. (2017). *Análisis de las restricciones que influyen en la competitividad de la cadena productiva de papas nativas (Solanum tuberosum) en la región Apurímac*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas].
<http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/317>

Perez, F. (2017). *Fisiología Vegetal Parte III*. Universidad Nacional de Ucayali.
<http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Pérez, L., Rodríguez, L. y Gómez, M. (2008). Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 477-486.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652008000300013

Pestalozzi, H. (2000). Sectoral fallow systems and management of soil fertility: the rationality of indigenous knowledge in the high Andes of Bolivia. *Mountain Research and Development*, 20 (3). 64-71. <https://doi.org/10.1659/0276-4741%282000%29020%5B0064%3ASFSATM%5D2.0.CO%3B2>

Pino, M. T. and Vergara, C. (2021). *Red and Purple Flesh Potatoes a Healthy and Attractive Alternative Associated with New Market Trends*. Yildiz, M and Ozgen, Y Eds. *Solanum tuberosum*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99181>

Plataforma Digital Única del Estado Peruano. (27 de abril del 2021). *Huánuco: más productores de papa son beneficiados con el Procompite en Yacus*. Gobierno Regional de Huánuco. Revisado el 20 de enero de 2022.
<https://www.gob.pe/institucion/regionhuanuco/noticias/487961-huanuco-mas-productores-de-papa-son-beneficiados-con-el-procompite-en-yacus>

- Proexpansión. (2011). *Cambios del sector papa en el Perú en la última década: Los aportes del proyecto Innovación y Competitividad de la Papa (INCOPA)*. Centro Internacional de la Papa. <https://doi.org/10.4160/9789290604112>
- Programa de Desarrollo Económico Sostenible y Gestión Estratégica de los Recursos Naturales en las regiones de Ayacucho, Apurímac, Huancavelica, Junín y Pasco-PRODERN. (2018). *La papa nativa en Apurimac: Identificación participativa de variedades en los distritos de Huayana y Pomacocha*. <https://prodern.minam.gob.pe/sites/default/files/documents/Papas%20nativas%20ApurimacFinal.pdf>
- Pumishaco, M. y Sherwood, S. (2002). *El cultivo de papa en el Ecuador*. INIAP y CIP. Quito, Ecuador. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2802>
- Ramírez Valverde, N. N. (2015). *Determinación de las características fisicoquímicas y morfológicas de tres variedades de papa nativa (Solanum tuberosum) cultivadas en el distrito de chugay - provincia de sánchez Carrión* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4422>
- Ramos, M. R. y Balladares, V. P. (2018). *Evaluación del contenido de antocianinas y micronutrientes (hierro, calcio y magnesio) en papas nativas (Solanum andigena) enteras y peladas de las variedades Puca Shungo, Yana Shungo y Yema de huevo*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional – Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27787>
- Rastovski, A., Buitelaar, N., van Es, A., de Haan, P., Hartmans, K., van der Schild, J., Sijbring, P., Sparenberg, H. y van Zwol, B. (1981). *Storage of potatoes*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- Reid, R. J., Dunbar, K. R., y McLaughlin, M. J. (2003). Cadmium loading into potato tubers: the roles of the periderm, xylem and phloem. *Plant, Cell and Environment*, 26(2). pp 201-206. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00945.x>

- Reyes, L. Miller, J. y Cisneros-Zevallos, L. (2004). Environmental conditions influence the content and yield of anthocyanins and total phenolics in purple- and red-flesh potatoes during tuber development. *American Journal of Potato Research*, 81 (187). <https://doi.org/10.1007/BF02871748>
- Rivero, R. C., Suárez, P., Rodríguez, E. M., Martín, J. y Romero, C. (2003). Mineral concentrations in cultivars of potatoes. *Food Chemistry*, 83. 247-253. [http://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00087-6](http://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00087-6)
- Riveros C. y Peralta, J. (2015). Catálogo de 12 cultivares de papa nativa. Inscritas en el registro de cultivares comerciales. https://fovida.org.pe/wp-content/uploads/2021/01/Catalogo-Cultivares-inscritos-papas-nativas_compressed.pdf
- Rojas, L. P. y Seminario, J. F. (2014). Productividad de diez cultivares promisorios de papa chaucha (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) de la región Cajamarca. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 165-175. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.01>
- Rozo, Y. y Ñustez, C. (2011). Effects of phosphorus and potassium levels on the yield of the tuber variety Criolla Colombia in the department of Cundinamarca. *Agronomía Colombia*, 29(2), 397-404. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-99652011000200006&lng=e&nrm=iso&tlng=es
- Sarandón, S. J. (2009). Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: Análisis del Convenio sobre Diversidad Biológica. En Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología-SOCLA (Ed.), *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones* (pp. 95-116). https://www.researchgate.net/publication/330637791_Biodiversidad_agrobiodiversidad_y_agricultura_sustentable_Analisis_del_Convenio_sobre_Diversidad_Biologica
- Semanario, J. F., Seminario, A., Domínguez, A. y Escalante, B. (2017). Rendimiento de cosecha de diecisiete cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) del grupo Phureja. *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 181-191. <https://doi.org/10.17268q/sci.agropecu.2017.03.01>

- Silvent, V., Rubio-Hurtado, M. y Vila, R. (2013). Cómo aplicar árboles de decisión en SPSS. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 6(1). pp. 67-79. 10.1344/reire2013.6.1615
- Simson, R., Tartlan, L., Nugis, E. y Eremeev, V. (2016). The effect of fertilizer and growing season on tuber dry matter and nitrate content in potato. *Agronomy Research* 14(4), 1486–1493.
https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2016/05/Vol14_nr4_Simson.pdf
- Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias-SIEA. (2019). *Anuario Agrícola 2019*.
<https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicaciones/datos-estadisticas/anuarios/category/26-produccion-agricola>
- Subramanian, N., White, P., Broadley, M. y Ramsay, G. (2011). The three-dimensional distribution of minerals in potato tubers. *Annals of Botany*, 107(4), 681–691.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcr009>
- Ticsihua J. (2021). Evaluación de Tres Variedades de Papas Nativas (*Solanum tuberosum* L.) para el Procesamiento de Hojuelas Fritas. *Polo del Conocimiento*, 6(11), 658-669.
<https://doi.org/10.23857/pc.v6i11.3291>
- Torres, R. y Aliaga, I. (2020). *Curso Virtual: Manejo integrado del cultivo de papa. Módulo I*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). 46p.
- U. S. Department of Agriculture (1 de abril del 2019a). *Potatoes, russet, flesh and skin, raw (Includes foods for USDA's Food Distribution Program)*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170027/nutrients>
- U. S. Department of Agriculture (1 de abril del 2019b). *Sweet potato, raw, unprepared (Includes foods for USDA's Food Distribution Program)*. Revisado 5 de febrero del 2022. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168482/nutrients>
- Vaitkevičienė, N. (2019). A comparative study on proximate and mineral composition of coloured potato peel and flesh. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (14), 6227–6233. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9895>

- Vázquez-Carrillo, M., Santiago-Ramos, D., Rubio-Covarrubias, O., Torres-Cervantes, C., Ayala-Rosas, A. y Vargas-Vázquez, M. (2016). Efecto ambiental en características fisicoquímicas de papas de la Mesa Central de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 1051-1064. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000501051&lng=es&tlng=es.
- Villa, P. M., Sarmiento, L., Rada, F. J., Rodrigues, A. C., Márquez, N. y Espinosa, W. (2020). Partición de biomasa y nitrógeno en el cultivo de papa bajo tres tratamientos de fertilización nitrogenada. *Siembra*, 7(2), 057–068. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2235>
- Villacrés, E., Quilca, N., Muñoz, R., Monteros, C. y Reinoso, I. (2009). Caracterización física, nutricional y funcional de papas nativas (*Solanum tuberosum* ssp.) para orientar sus usos en Ecuador. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 15 (1), 52–54. <https://doi.org/10.37066/ralap.v15i1.152>
- Villordón, A., Gregorie, J. y Labónte, D. (2020). Variation in Phosphorus Availability, Root Architecture Attributes, and Onset of Storage Root Formation among Sweetpotato Cultivars. *HortScience*, 55 (12), 1903- 1911. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15358-20>
- White, P., Bradshaw, J., Finlay, M., Dale, B. y Ramsay, G. (2009). Relationships Between Yield and Mineral Concentrations in Potato Tubers. *HortScience*, 44(1), 1-6. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.6>
- Whittaker, A., Marotti, I., Dinelli, G., Calamai, L., Romagnoli, S., Manzelli, M., ... Benedettelli, S. (2010). The influence of tuber mineral element composition as a function of geographical location on acrylamide formation in different Italian potato genotypes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4026>

- Wierzbicka A. (2012). Mineral content of potato tubers grown in the organic system, their nutritional value and interaction. *J. Ressearch in. Applied. Agriculture. Engineer.* 57(4), 188–192. 20.
- Wierzbicka A. y Trawczyński C. (2011). Effect of irrigation and soil-borne microorganisms on the macro – and micronutrient content in organic potato tubers. *Fragm. Agron.* 28(4), 139–148.
- Wierzbowska, J., Cwalina-Ambroziak, B., Głosek-Sobieraj, M. y Sienkiewicz, S. (2016). Content of minerals in tubers of potato plants treated with bioregulators. *Romanian Agricultural Research.* 291-298. <http://www.incda-fundulea.ro/rar.htm>
- Woolfe, J. (1987). *The potato in the human diet.* (1^a ed.). Cambridge University Press.
- Wszelaki, A. L., Delwiche, J. F., Walker, S. D., Liggett, R. E., Scheerens, J. C. y Kleinhenz, M. D. (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 (5), 720–726. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2051>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Descriptores morfológicos de los tubérculos

| MORFOTIPO | PIEL | FORMA | PULPA | OJOS | MORFOTIPO | PIEL | FORMA | PULPA | OJOS | MORFOTIPO | PIEL | FORMA | PULPA | OJOS |
|-----------|------|-------|-------|------|-----------|------|-------|-------|------|-----------|------|-------|-------|------|
| 36 | 9361 | 696 | 400 | 4 | B113 | 6327 | 201 | 283 | 4 | B271 | 8300 | 843 | 200 | 2 |
| 44 | 2374 | 823 | 262 | 2 | B117 | 6321 | 105 | 300 | 4 | B272 | 6324 | 823 | 100 | 3 |
| 69 | 8300 | 303 | 300 | 2 | B118 | 6325 | 205 | 400 | 3 | B273 | 7224 | 197 | 200 | 4 |
| 91 | 8394 | 625 | 185 | 4 | B12 | 2200 | 203 | 400 | 3 | B276 | 8225 | 843 | 175 | 2 |
| 159 | 6225 | 823 | 285 | 2 | B120 | 6200 | 303 | 163 | 2 | B278 | 2100 | 295 | 100 | 2 |
| 173 | 8314 | 843 | 100 | 1 | B121 | 7294 | 197 | 200 | 4 | B282 | 9300 | 699 | 400 | 4 |
| 234 | 7300 | 105 | 200 | 4 | B122 | 6294 | 107 | 200 | 4 | B283 | 8394 | 823 | 400 | 3 |
| 241 | 8300 | 195 | 400 | 4 | B123 | 5394 | 313 | 300 | 2 | B285 | 8294 | 843 | 272 | 1 |
| 260 | 8300 | 605 | 175 | 3 | B124 | 6300 | 313 | 200 | 2 | B287 | 7297 | 821 | 474 | 4 |
| 287 | 2254 | 195 | 400 | 4 | B126 | 8371 | 105 | 400 | 3 | B288 | 7394 | 605 | 400 | 3 |
| 290 | 2100 | 197 | 100 | 4 | B127 | 6226 | 205 | 200 | 3 | B289 | 7394 | 821 | 474 | 4 |
| 309 | 2254 | 205 | 100 | 3 | B128 | 7124 | 195 | 200 | 4 | B290 | 7394 | 825 | 100 | 3 |
| 367 | 2354 | 205 | 200 | 3 | B13 | 2300 | 205 | 500 | 4 | B291 | 6300 | 823 | 362 | 1 |
| 374 | 8324 | 313 | 100 | 2 | B130 | 7224 | 105 | 100 | 4 | B292 | 7394 | 853 | 185 | 2 |
| 392 | 9354 | 105 | 200 | 3 | B131 | 7224 | 105 | 167 | 4 | B294 | 2184 | 825 | 100 | 3 |
| 399 | 6204 | 703 | 400 | 3 | B132 | 4251 | 105 | 500 | 4 | B295 | 8214 | 843 | 100 | 1 |
| 426 | 6300 | 105 | 400 | 4 | B133 | 2274 | 197 | 300 | 4 | B296 | 8397 | 823 | 100 | 2 |
| 510 | 2384 | 813 | 300 | 1 | B134 | 2354 | 105 | 100 | 4 | B297 | 1387 | 843 | 200 | 2 |
| 521 | 9300 | 863 | 100 | 1 | B135 | 6325 | 105 | 400 | 4 | B298 | 8314 | 843 | 100 | 1 |
| 527 | 9364 | 695 | 471 | 4 | B137 | 7324 | 313 | 263 | 3 | B299 | 8294 | 843 | 171 | 1 |
| 531 | 8394 | 843 | 271 | 1 | B138 | 7324 | 197 | 400 | 4 | B29A | 7225 | 197 | 100 | 4 |
| 560 | 8300 | 105 | 475 | 3 | B139 | 7324 | 105 | 100 | 4 | B3 | 1300 | 311 | 100 | 3 |
| 571 | 8227 | 513 | 271 | 1 | B14 | 2351 | 295 | 500 | 4 | B30 | 7300 | 203 | 261 | 3 |
| 583 | 9300 | 107 | 175 | 4 | B141 | 7324 | 297 | 100 | 4 | B301 | 8214 | 853 | 100 | 2 |
| 592 | 2151 | 303 | 200 | 2 | B144 | 8394 | 197 | 400 | 4 | B303 | 8224 | 195 | 200 | 4 |
| 606 | 8394 | 105 | 200 | 3 | B145 | 8394 | 313 | 100 | 2 | B306 | 8324 | 823 | 172 | 1 |
| 607 | 2284 | 105 | 300 | 3 | B146 | 8124 | 105 | 200 | 3 | B309 | 8214 | 843 | 100 | 1 |
| 610 | 2261 | 885 | 200 | 4 | B147 | 8214 | 313 | 200 | 2 | B31 | 7300 | 197 | 100 | 4 |
| 631 | 7300 | 685 | 265 | 4 | B148 | 6200 | 843 | 300 | 1 | B312 | 8394 | 685 | 100 | 4 |
| 632 | 2251 | 205 | 300 | 3 | B15 | 3300 | 105 | 500 | 4 | B318 | 8394 | 825 | 400 | 3 |
| 633 | 9300 | 843 | 175 | 3 | B150 | 8200 | 313 | 200 | 2 | B319 | 8394 | 825 | 300 | 3 |
| 636 | 9200 | 725 | 175 | 3 | B151 | 2284 | 105 | 100 | 4 | B32 | 7294 | 197 | 400 | 4 |
| 637 | 6200 | 379 | 300 | 4 | B153 | 9326 | 203 | 500 | 4 | B320 | 8364 | 685 | 200 | 4 |
| 639 | 6325 | 105 | 165 | 4 | B154 | 8394 | 105 | 200 | 4 | B321 | 9381 | 205 | 175 | 4 |
| 640 | 1384 | 605 | 273 | 4 | B155 | 8300 | 311 | 175 | 4 | B323 | 9317 | 825 | 100 | 3 |
| 642 | 6221 | 813 | 383 | 1 | B158 | 8321 | 197 | 200 | 4 | B325 | 9325 | 843 | 171 | 2 |
| 645 | 6224 | 313 | 200 | 2 | B16 | 3100 | 403 | 400 | 3 | B326 | 9324 | 785 | 400 | 4 |
| 646 | 2266 | 205 | 400 | 3 | B161 | 8324 | 313 | 171 | 2 | B327 | 2294 | 853 | 200 | 1 |
| 649 | 8394 | 205 | 100 | 2 | B165 | 8325 | 313 | 271 | 4 | B328 | 2394 | 843 | 282 | 2 |
| 652 | 5284 | 205 | 200 | 3 | B166 | 9324 | 105 | 400 | 4 | B329 | 9325 | 843 | 200 | 2 |
| 657 | 1300 | 863 | 200 | 1 | B167 | 9324 | 107 | 400 | 4 | B33 | 8300 | 205 | 175 | 4 |
| 660 | 6200 | 845 | 400 | 4 | B170 | 8394 | 105 | 100 | 3 | B331 | 9300 | 203 | 172 | 3 |
| 661 | 7224 | 885 | 261 | 4 | B173 | 9324 | 301 | 175 | 3 | B332 | 8294 | 823 | 100 | 1 |
| 663 | 8394 | 695 | 175 | 3 | B176 | 1300 | 813 | 100 | 1 | B34 | 7300 | 205 | 261 | 3 |
| 664 | 9300 | 377 | 200 | 4 | B18 | 5224 | 105 | 100 | 4 | B35 | 7300 | 203 | 562 | 3 |
| 665 | 7224 | 313 | 100 | 3 | B183 | 2151 | 605 | 400 | 4 | B35A | 8394 | 195 | 400 | 4 |
| 667 | 6300 | 705 | 400 | 4 | B186 | 2200 | 823 | 300 | 1 | B36 | 8394 | 105 | 174 | 4 |
| 668 | 6300 | 699 | 400 | 4 | B187 | 2200 | 823 | 400 | 2 | B37 | 8294 | 305 | 100 | 3 |
| 670 | 7300 | 107 | 275 | 4 | B189 | 2300 | 823 | 500 | 2 | B38 | 8394 | 303 | 173 | 3 |
| 671 | 2351 | 205 | 500 | 4 | B19 | 6300 | 205 | 163 | 4 | B39 | 8394 | 197 | 175 | 4 |
| 672 | 6300 | 685 | 100 | 4 | B191 | 2200 | 823 | 500 | 2 | B4 | 1300 | 197 | 100 | 4 |
| 673 | 2256 | 853 | 100 | 1 | B193 | 9300 | 823 | 300 | 2 | B42 | 9300 | 105 | 175 | 3 |
| 674 | 3100 | 197 | 400 | 4 | B195 | 7300 | 685 | 165 | 4 | B45 | 9387 | 105 | 272 | 4 |
| 679 | 8324 | 105 | 100 | 3 | B196 | 7200 | 685 | 165 | 4 | B46 | 9300 | 203 | 175 | 3 |
| 687 | 9300 | 105 | 100 | 4 | B197 | 7200 | 685 | 165 | 4 | B48 | 9300 | 107 | 271 | 3 |
| 688 | 8394 | 403 | 273 | 3 | B199 | 6300 | 705 | 463 | 4 | B49 | 9300 | 105 | 274 | 3 |
| 689 | 2251 | 205 | 400 | 4 | B2 | 1294 | 303 | 275 | 3 | B5 | 1381 | 313 | 100 | 2 |
| 691 | 2300 | 695 | 400 | 4 | B20 | 7200 | 105 | 100 | 4 | B54 | 9300 | 305 | 27 | 4 |
| 700 | 9300 | 313 | 174 | 3 | B200 | 6300 | 885 | 164 | 4 | B55 | 9300 | 295 | 170 | 4 |
| 703 | 6325 | 823 | 400 | 2 | B201 | 6300 | 823 | 400 | 2 | B56 | 8394 | 105 | 175 | 3 |
| 704 | 6394 | 843 | 373 | 1 | B208 | 6394 | 103 | 300 | 3 | B58A | 9371 | 313 | 271 | 2 |
| 706 | 1300 | 825 | 100 | 3 | B209 | 9300 | 825 | 400 | 3 | B59 | 8394 | 303 | 271 | 2 |
| 707 | 2100 | 105 | 400 | 4 | B21 | 6300 | 107 | 100 | 4 | B6 | 2200 | 105 | 200 | 3 |
| 708 | 9324 | 853 | 171 | 1 | B210 | 6300 | 843 | 400 | 2 | B61 | 9300 | 313 | 273 | 3 |
| 722 | 8325 | 313 | 200 | 1 | B215 | 8324 | 699 | 200 | 4 | B62 | 2151 | 205 | 100 | 4 |
| 723 | 6224 | 605 | 500 | 3 | B216 | 9300 | 687 | 175 | 4 | B63 | 1200 | 205 | 100 | 4 |
| 725 | 2381 | 605 | 500 | 4 | B22 | 6300 | 197 | 200 | 4 | B64 | 1351 | 105 | 100 | 4 |
| 727 | 7324 | 107 | 400 | 4 | B221 | 9300 | 687 | 172 | 4 | B65 | 2351 | 203 | 500 | 3 |
| 731 | 2256 | 201 | 400 | 3 | B222 | 9300 | 605 | 300 | 4 | B66 | 6224 | 205 | 400 | 2 |
| 736 | 2287 | 813 | 200 | 1 | B224 | 9300 | 697 | 100 | 4 | B67 | 2166 | 291 | 100 | 4 |
| 737 | 2300 | 843 | 400 | 2 | B227 | 9300 | 873 | 173 | 3 | B68 | 2266 | 203 | 100 | 4 |
| 738 | 9381 | 107 | 400 | 4 | B228 | 2287 | 805 | 300 | 4 | B6A | 1381 | 397 | 100 | 4 |
| 148A | 8214 | 823 | 175 | 1 | B229 | 2181 | 813 | 100 | 1 | B7 | 2151 | 197 | 100 | 4 |
| 148B | 8314 | 823 | 175 | 1 | B23 | 6300 | 107 | 400 | 4 | B70 | 2274 | 105 | 162 | 4 |
| 331A | 1384 | 695 | 173 | 4 | B231 | 1351 | 845 | 100 | 4 | B70A | 7225 | 105 | 200 | 4 |
| 432A | 9384 | 303 | 271 | 2 | B234 | 1366 | 197 | 400 | 4 | B72 | 2274 | 305 | 100 | 3 |
| 456B | 8394 | 823 | 500 | 2 | B236 | 2251 | 685 | 200 | 4 | B73 | 2277 | 303 | 400 | 1 |
| 456C | 9300 | 823 | 173 | 1 | B237 | 2364 | 203 | 400 | 3 | B75 | 6324 | 105 | 400 | 4 |
| 478A | 7200 | 853 | 165 | 2 | B238 | 2364 | 705 | 462 | 4 | B76 | 2361 | 205 | 400 | 4 |
| 478B | 6300 | 843 | 400 | 1 | B239 | 2264 | 823 | 100 | 3 | B77 | 2264 | 205 | 500 | 4 |
| 527A | 8300 | 205 | 475 | 3 | B23A | 2364 | 105 | 400 | 4 | B78 | 6277 | 605 | 400 | 4 |
| 533A | 6300 | 823 | 264 | 1 | B246 | 2261 | 603 | 400 | 4 | B79 | 5327 | 205 | 400 | 4 |
| 560A | 2374 | 107 | 400 | 4 | B248 | 8200 | 813 | 200 | 1 | B8 | 2200 | 697 | 400 | 4 |
| 569A | 2251 | 687 | 300 | 4 | B249 | 1294 | 845 | 100 | 4 | B80 | 5224 | 203 | 500 | 3 |
| 688A | 8294 | 313 | 371 | 3 | B25 | 6300 | 205 | 300 | 3 | B81 | 4166 | 197 | 400 | 4 |
| 698A | 1351 | 805 | 100 | 3 | B250-1 | 2184 | 823 | 200 | 3 | B82 | 2194 | 107 | 400 | 4 |
| 91A | 2184 | 205 | 171 | 3 | B252 | 2294 | 823 | 200 | 2 | B83 | 1287 | 301 | 100 | 3 |
| B10 | 2381 | 205 | 500 | 3 | B253 | 2384 | 843 | 300 | 4 | B85 | 1300 | 313 | 200 | 1 |
| B100 | 2154 | 3 05 | 200 | 3 | B254 | 2200 | 699 | 200 | 4 | B87 | 1300 | 313 | 200 | 2 |
| B101 | 6221 | 685 | 400 | 4 | B256 | 8396 | 823 | 500 | 1 | B89 | 2281 | 605 | 400 | 4 |
| B102 | 6221 | 195 | 400 | 4 | B258 | 6325 | 603 | 400 | 3 | B9 | 2300 | 203 | 400 | 3 |
| B103 | 6224 | 205 | 300 | 4 | B26 | 6300 | 699 | 263 | 4 | B90 | 2281 | 105 | 400 | 4 |
| B104 | 6224 | 303 | 100 | 2 | B260 | 6324 | 823 | 400 | 3 | B91 | 2284 | 195 | 300 | 4 |
| B105 | 6225 | 313 | 100 | 3 | B262 | 6125 | 691 | 200 | 4 | B92 | 2284 | 205 | 375 | 3 |
| B106 | 2264 | 397 | 100 | 4 | B262A | 6325 | 105 | 200 | 4 | B93 | 2284 | 205 | 400 | 4 |
| B107 | 7224 | 317 | 300 | 4 | B263 | 6300 | 685 | 100 | 4 | B94 | 2286 | 313 | 200 | 1 |
| B108 | 6225 | 315 | 200 | 3 | B264 | 6300 | 681 | 400 | 4 | B95 | 2184 | 395 | 200 | 4 |
| B109 | 6225 | 105 | 100 | 4 | B265 | 6200 | 823 | 400 | 3 | B97 | 7224 | 105 | 186 | 4 |
| B11 | 2200 | 205 | 400 | 4 | B266 | 7325 | 823 | 175 | 3 | B98 | 6294 | 307 | 200 | 4 |
| B111 | 5266 | 401 | 500 | 3 | B268 | 6325 | 843 | 200 | 2 | | | | | |

Anexo 2. Caracteres fenotípicos de los tubérculos

| Morfotipo | PIEL | FORMA | PULPA | Morfotipo | PIEL | FORMA | PULPA | Morfotipo | PIEL | FORMA | PULPA | Morfotipo | PIEL | FORMA | PULPA | Morfotipo | PIEL | FORMA | PULPA | Morfotipo | PIEL | FORMA | PULPA |
|-----------|------------|------------|-------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|------------|------------|-------------|
| 36 | de colores | alargada | amarilla | 668 | rojiza | alargada | amarilla | B107 | de colores | redondeada | pigmentada | B173 | de colores | redondeada | pigmentada | B258 | de colores | alargada | amarilla | B327 | de colores | alargada | blanquecina |
| 44 | de colores | redondeada | amarilla | 670 | rojiza | redondeada | blanquecina | B108 | blanca | especial | blanquecina | B176 | blanca | especial | blanquecina | B260 | rojiza | alargada | pigmentada | B328 | de colores | especial | pigmentada |
| 69 | oscura | redondeada | amarilla | 671 | de colores | redondeada | blanquecina | B109 | de colores | redondeada | blanquecina | B18 | de colores | redondeada | blanquecina | B262 | de colores | alargada | amarilla | B329 | de colores | especial | blanquecina |
| 91 | de colores | especial | pigmentada | 672 | rojiza | especial | blanquecina | B11 | de colores | alargada | amarilla | B183 | de colores | alargada | amarilla | B262A | de colores | alargada | blanquecina | B33 | oscura | redondeada | pigmentada |
| 159 | de colores | especial | pigmentada | 673 | amarilla | alargada | blanquecina | B111 | amarilla | especial | amarilla | B186 | amarilla | especial | amarilla | B262A | de colores | redondeada | blanquecina | B331 | oscura | redondeada | pigmentada |
| 173 | de colores | especial | blanquecina | 674 | amarilla | redondeada | amarilla | B112 | de colores | redondeada | pigmentada | B187 | de colores | redondeada | pigmentada | B263 | de colores | redondeada | blanquecina | B332 | de colores | especial | blanquecina |
| 234 | rojiza | redondeada | blanquecina | 679 | de colores | redondeada | blanquecina | B113 | rojiza | redondeada | pigmentada | B189 | rojiza | redondeada | pigmentada | B264 | rojiza | especial | amarilla | B34 | rojiza | redondeada | pigmentada |
| 241 | oscura | redondeada | amarilla | 687 | oscura | redondeada | blanquecina | B117 | de colores | redondeada | blanquecina | B19 | rojiza | redondeada | pigmentada | B265 | rojiza | especial | amarilla | B35 | rojiza | redondeada | pigmentada |
| 260 | oscura | alargada | pigmentada | 688 | de colores | redondeada | amarilla | B118 | de colores | redondeada | amarilla | B191 | amarilla | especial | amarilla | B266 | de colores | especial | pigmentada | B35A | de colores | redondeada | amarilla |
| 287 | de colores | redondeada | amarilla | 689 | de colores | redondeada | amarilla | B119 | de colores | redondeada | amarilla | B193 | oscura | especial | amarilla | B268 | de colores | especial | blanquecina | B36 | de colores | redondeada | pigmentada |
| 290 | amarilla | redondeada | blanquecina | 691 | amarilla | alargada | amarilla | B120 | rojiza | redondeada | pigmentada | B195 | rojiza | especial | pigmentada | B269 | de colores | especial | pigmentada | B37 | de colores | redondeada | blanquecina |
| 309 | de colores | redondeada | blanquecina | 700 | de colores | redondeada | blanquecina | B121 | de colores | redondeada | blanquecina | B196 | rojiza | especial | pigmentada | B271 | oscura | especial | blanquecina | B38 | de colores | redondeada | pigmentada |
| 367 | de colores | redondeada | blanquecina | 703 | de colores | especial | blanquecina | B122 | de colores | redondeada | blanquecina | B199 | rojiza | especial | pigmentada | B272 | de colores | especial | blanquecina | B39 | de colores | redondeada | pigmentada |
| 374 | de colores | especial | blanquecina | 704 | de colores | especial | amarilla | B123 | de colores | especial | amarilla | B199 | rojiza | alargada | pigmentada | B273 | de colores | redondeada | blanquecina | B4 | blanca | redondeada | blanquecina |
| 392 | de colores | redondeada | blanquecina | 706 | blanca | especial | blanquecina | B124 | rojiza | especial | blanquecina | B2 | de colores | redondeada | pigmentada | B276 | de colores | especial | pigmentada | B42 | oscura | redondeada | pigmentada |
| 399 | rojiza | alargada | amarilla | 707 | amarilla | redondeada | amarilla | B126 | de colores | redondeada | amarilla | B200 | rojiza | redondeada | blanquecina | B278 | amarilla | redondeada | blanquecina | B45 | oscura | redondeada | pigmentada |
| 426 | rojiza | redondeada | amarilla | 708 | de colores | alargada | pigmentada | B127 | rojiza | redondeada | blanquecina | B200 | rojiza | especial | pigmentada | B282 | oscura | alargada | amarilla | B46 | oscura | redondeada | pigmentada |
| 510 | de colores | especial | amarilla | 722 | de colores | especial | blanquecina | B128 | de colores | redondeada | blanquecina | B201 | rojiza | especial | amarilla | B283 | de colores | especial | amarilla | B48 | oscura | redondeada | pigmentada |
| 521 | oscura | alargada | blanquecina | 723 | de colores | alargada | amarilla | B13 | amarilla | redondeada | amarilla | B208 | de colores | redondeada | amarilla | B285 | de colores | especial | pigmentada | B49 | oscura | redondeada | pigmentada |
| 527 | de colores | alargada | pigmentada | 725 | de colores | alargada | amarilla | B130 | de colores | redondeada | blanquecina | B209 | oscura | especial | amarilla | B287 | oscura | especial | pigmentada | B5 | de colores | especial | blanquecina |
| 531 | de colores | especial | pigmentada | 727 | de colores | redondeada | amarilla | B131 | de colores | redondeada | pigmentada | B21 | rojiza | redondeada | blanquecina | B288 | de colores | alargada | amarilla | B54 | oscura | redondeada | pigmentada |
| 560 | oscura | redondeada | pigmentada | 731 | amarilla | redondeada | amarilla | B132 | de colores | redondeada | amarilla | B210 | rojiza | especial | amarilla | B289 | de colores | especial | pigmentada | B55 | oscura | redondeada | pigmentada |
| 571 | oscura | especial | pigmentada | 736 | amarilla | especial | blanquecina | B133 | de colores | redondeada | amarilla | B215 | de colores | alargada | blanquecina | B290 | de colores | especial | blanquecina | B56 | de colores | redondeada | pigmentada |
| 583 | oscura | redondeada | pigmentada | 737 | amarilla | especial | amarilla | B134 | de colores | redondeada | blanquecina | B216 | oscura | especial | pigmentada | B291 | rojiza | especial | pigmentada | B58A | de colores | especial | pigmentada |
| 592 | de colores | redondeada | blanquecina | 738 | de colores | redondeada | amarilla | B135 | de colores | redondeada | amarilla | B22 | rojiza | redondeada | blanquecina | B292 | de colores | alargada | pigmentada | B59 | de colores | redondeada | pigmentada |
| 606 | oscura | redondeada | blanquecina | 148A | de colores | especial | pigmentada | B137 | de colores | especial | pigmentada | B221 | oscura | especial | pigmentada | B294 | de colores | especial | blanquecina | B6 | amarilla | redondeada | blanquecina |
| 607 | de colores | redondeada | amarilla | 148B | de colores | especial | pigmentada | B138 | de colores | redondeada | amarilla | B222 | oscura | alargada | amarilla | B295 | de colores | especial | blanquecina | B61 | oscura | especial | pigmentada |
| 610 | de colores | especial | blanquecina | 331A | blanca | alargada | pigmentada | B139 | de colores | redondeada | blanquecina | B224 | oscura | alargada | blanquecina | B296 | oscura | especial | blanquecina | B62 | de colores | redondeada | blanquecina |
| 631 | rojiza | especial | pigmentada | 432A | de colores | redondeada | pigmentada | B14 | de colores | redondeada | amarilla | B227 | oscura | alargada | pigmentada | B297 | blanca | especial | blanquecina | B63 | blanca | redondeada | blanquecina |
| 632 | de colores | redondeada | pigmentada | 456B | de colores | especial | blanquecina | B141 | de colores | redondeada | blanquecina | B228 | amarilla | alargada | amarilla | B298 | de colores | especial | blanquecina | B64 | de colores | redondeada | blanquecina |
| 633 | oscura | especial | pigmentada | 456C | oscura | especial | pigmentada | B144 | de colores | redondeada | amarilla | B229 | de colores | especial | blanquecina | B299 | de colores | especial | pigmentada | B65 | de colores | redondeada | amarilla |
| 636 | oscura | especial | pigmentada | 478A | rojiza | alargada | pigmentada | B145 | de colores | especial | blanquecina | B23 | rojiza | redondeada | amarilla | B29A | de colores | redondeada | blanquecina | B66 | de colores | redondeada | amarilla |
| 637 | rojiza | redondeada | pigmentada | 478B | rojiza | especial | amarilla | B146 | de colores | redondeada | blanquecina | B231 | de colores | especial | blanquecina | B3 | blanca | especial | blanquecina | B67 | amarilla | redondeada | blanquecina |
| 640 | de colores | redondeada | pigmentada | 527A | oscura | redondeada | pigmentada | B147 | de colores | especial | blanquecina | B234 | blanca | redondeada | amarilla | B30 | rojiza | redondeada | pigmentada | B68 | amarilla | redondeada | blanquecina |
| 640 | de colores | alargada | pigmentada | 533A | rojiza | especial | pigmentada | B148 | rojiza | especial | amarilla | B236 | de colores | especial | blanquecina | B301 | de colores | alargada | blanquecina | B6A | de colores | redondeada | blanquecina |
| 642 | de colores | especial | pigmentada | 560A | de colores | redondeada | amarilla | B15 | amarilla | redondeada | amarilla | B237 | de colores | redondeada | amarilla | B303 | de colores | redondeada | blanquecina | B7 | de colores | redondeada | blanquecina |
| 645 | de colores | especial | pigmentada | 569A | de colores | especial | amarilla | B150 | oscura | especial | blanquecina | B238 | de colores | alargada | pigmentada | B306 | de colores | especial | pigmentada | B70 | de colores | redondeada | pigmentada |
| 646 | amarilla | redondeada | amarilla | 688A | de colores | especial | pigmentada | B151 | de colores | redondeada | blanquecina | B239 | de colores | especial | blanquecina | B309 | de colores | especial | blanquecina | B70A | de colores | redondeada | blanquecina |
| 649 | de colores | redondeada | blanquecina | 698A | de colores | alargada | blanquecina | B153 | oscura | redondeada | amarilla | B23A | de colores | redondeada | amarilla | B31 | rojiza | redondeada | blanquecina | B72 | de colores | redondeada | blanquecina |
| 652 | de colores | redondeada | blanquecina | 91A | de colores | redondeada | pigmentada | B154 | de colores | redondeada | blanquecina | B246 | de colores | alargada | amarilla | B312 | de colores | especial | blanquecina | B73 | amarilla | redondeada | amarilla |
| 657 | blanca | alargada | blanquecina | B10 | de colores | redondeada | amarilla | B155 | oscura | especial | pigmentada | B248 | oscura | especial | blanquecina | B318 | de colores | especial | amarilla | B75 | de colores | redondeada | amarilla |
| 660 | rojiza | especial | amarilla | B100 | de colores | redondeada | blanquecina | B158 | de colores | redondeada | blanquecina | B249 | de colores | especial | blanquecina | B319 | de colores | especial | amarilla | B76 | de colores | redondeada | amarilla |
| 661 | de colores | especial | pigmentada | B101 | de colores | especial | amarilla | B16 | amarilla | redondeada | amarilla | B25 | rojiza | redondeada | amarilla | B32 | de colores | redondeada | amarilla | B77 | de colores | redondeada | amarilla |
| 663 | de colores | alargada | pigmentada | B102 | de colores | redondeada | amarilla | B161 | de colores | especial | pigmentada | B250-1 | de colores | especial | blanquecina | B320 | de colores | especial | blanquecina | B78 | rojiza | alargada | amarilla |
| 664 | oscura | redondeada | blanquecina | B103 | de colores | redondeada | amarilla | B165 | de colores | especial | pigmentada | B252 | de colores | especial | blanquecina | B321 | de colores | redondeada | pigmentada | B79 | rojiza | redondeada | amarilla |
| 665 | de colores | especial | blanquecina | B104 | de colores | redondeada | blanquecina | B166 | de colores | redondeada | amarilla | B253 | de colores | especial | amarilla | B323 | oscura | especial | blanquecina | B8 | rojiza | alargada | amarilla |
| 667 | rojiza | alargada | amarilla | B105 | de colores | especial | blanquecina | B167 | de colores | redondeada | amarilla | B254 | de colores | alargada | blanquecina | B325 | de colores | especial | pigmentada | B80 | de colores | redondeada | amarilla |
| | | | | B106 | de colores | redondeada | blanquecina | B170 | de colores | redondeada | blanquecina | B256 | de colores | especial | amarilla | B326 | de colores | especial | amarilla | B81 | oscura | redondeada | amarilla |

Anexo 3. Datos de materia seca

| Morfotipo | MS | Desvest | Morfotipo | MS | Desvest | Morfotipo | MS | Desvest | Morfotipo | MS | Desvest | Morfotipo | MS | Desvest | Morfotipo | MS | Desvest | Morfotipo | MS | Desvest |
|-----------|-------|---------|-----------|-------|---------|-----------|-------|---------|-----------|-------|---------|-----------|-------|---------|-----------|-------|---------|-----------|-------|---------|
| 36 | 24.27 | 1.32 | 668 | 20.81 | 1.22 | B107 | 20.59 | 0.73 | B191 | 26.47 | 1.90 | B258 | 24.38 | 2.80 | B327 | 25.08 | 2.06 | B82 | 20.58 | 1.05 |
| 44 | 28.45 | 1.06 | 670 | 21.48 | 0.54 | B108 | 14.71 | 2.48 | B193 | 23.39 | 0.44 | B26 | 19.95 | 1.06 | B328 | 29.84 | 1.26 | B83 | 23.79 | 1.24 |
| 69 | 22.35 | 1.34 | 671 | 24.77 | 1.01 | B109 | 19.40 | 0.80 | B195 | 22.52 | 1.00 | B260 | 23.99 | 2.80 | B329 | 21.69 | 2.37 | B85 | 17.96 | 2.34 |
| 91 | 27.19 | 0.51 | 672 | 27.18 | 0.68 | B11 | 32.08 | 2.53 | B196 | 23.51 | 0.56 | B262 | 21.07 | 1.32 | B33 | 24.16 | 1.39 | B87 | 16.19 | 1.59 |
| 159 | 28.58 | 1.46 | 673 | 27.72 | 0.98 | B111 | 27.20 | 1.27 | B197 | 24.67 | 1.02 | B262A | 23.32 | 0.25 | B331 | 20.64 | 0.07 | B89 | 28.40 | 1.40 |
| 173 | 28.07 | 2.22 | 674 | 31.52 | 1.58 | B112 | 19.35 | 0.23 | B199 | 22.47 | 1.24 | B263 | 25.92 | 1.53 | B332 | 25.45 | 1.63 | B9 | 25.94 | 1.04 |
| 234 | 32.79 | 1.23 | 679 | 20.96 | 2.20 | B113 | 24.84 | 1.99 | B2 | 21.49 | 0.55 | B264 | 25.35 | 1.55 | B34 | 27.10 | 0.96 | B90 | 20.23 | 0.68 |
| 241 | 32.84 | 2.00 | 687 | 20.42 | 1.04 | B117 | 16.78 | 0.69 | B20 | 23.88 | 1.59 | B265 | 19.72 | 0.53 | B35 | 19.67 | 1.13 | B91 | 20.42 | 2.00 |
| 260 | 23.59 | 1.43 | 688 | 19.06 | 0.22 | B118 | 23.80 | 0.13 | B200 | 25.54 | 0.69 | B266 | 24.46 | 0.84 | B35A | 25.59 | 1.02 | B92 | 21.64 | 0.60 |
| 287 | 33.05 | 0.75 | 689 | 29.79 | 1.53 | B12 | 27.37 | 2.31 | B201 | 27.98 | 1.79 | B268 | 19.12 | 1.88 | B36 | 18.52 | 2.12 | B93 | 20.35 | 0.95 |
| 290 | 30.01 | 1.11 | 691 | 28.64 | 2.24 | B120 | 19.86 | 0.81 | B208 | 28.09 | 0.81 | B269 | 20.35 | 0.20 | B37 | 23.16 | 0.63 | B94 | 14.89 | 0.26 |
| 309 | 25.72 | 0.57 | 700 | 26.46 | 0.98 | B121 | 18.50 | 1.56 | B209 | 24.21 | 2.41 | B271 | 17.76 | 0.72 | B38 | 15.38 | 1.90 | B95 | 20.09 | 0.46 |
| 367 | 20.56 | 0.89 | 703 | 28.32 | 2.26 | B122 | 20.38 | 1.34 | B21 | 19.51 | 1.59 | B272 | 22.26 | 0.89 | B39 | 25.42 | 0.83 | B97 | 19.77 | 0.60 |
| 374 | 21.61 | 1.19 | 704 | 18.34 | 1.51 | B123 | 17.41 | 1.15 | B167 | 19.82 | 1.51 | B273 | 27.19 | 1.03 | B4 | 25.25 | 1.07 | B98 | 22.02 | 1.85 |
| 392 | 24.03 | 0.89 | 706 | 28.62 | 0.91 | B124 | 20.03 | 0.34 | B170 | 20.84 | 1.84 | B276 | 31.77 | 2.36 | B42 | 24.40 | 1.34 | B99 | 20.42 | 1.23 |
| 399 | 30.97 | 2.19 | 707 | 27.95 | 2.15 | B126 | 18.80 | 2.28 | B173 | 18.82 | 1.73 | B278 | 26.02 | 1.67 | B45 | 21.70 | 0.81 | CHOC160 | 24.64 | 0.61 |
| 426 | 30.07 | 0.51 | 708 | 19.93 | 0.98 | B127 | 14.91 | 1.28 | B176 | 22.16 | 1.54 | B282 | 22.67 | 1.20 | B46 | 20.29 | 1.20 | GALLETA | 20.69 | 2.56 |
| 510 | 15.02 | 1.95 | 722 | 17.35 | 1.60 | B128 | 17.88 | 1.14 | B18 | 25.41 | 1.13 | B283 | 30.12 | 2.39 | B48 | 19.49 | 1.67 | | | |
| 521 | 23.60 | 0.65 | 723 | 24.46 | 2.10 | B13 | 24.96 | 0.30 | B183 | 23.84 | 0.42 | B285 | 22.01 | 1.27 | B49 | 22.19 | 0.67 | | | |
| 527 | 22.64 | 1.22 | 725 | 29.73 | 1.69 | B130 | 23.93 | 1.00 | B186 | 24.65 | 1.06 | B287 | 26.37 | 1.30 | B5 | 22.54 | 0.22 | | | |
| 531 | 23.37 | 0.92 | 727 | 20.79 | 0.48 | B131 | 23.54 | 1.47 | B187 | 24.16 | 1.43 | B288 | 33.51 | 0.80 | B54 | 21.86 | 1.36 | | | |
| 560 | 23.94 | 1.67 | 731 | 26.00 | 0.81 | B132 | 26.40 | 1.57 | B210 | 19.79 | 1.56 | B289 | 24.08 | 1.19 | B55 | 27.97 | 0.84 | | | |
| 571 | 21.61 | 1.79 | 736 | 18.59 | 0.70 | B133 | 31.31 | 1.25 | B215 | 16.24 | 0.28 | B290 | 27.17 | 1.25 | B56 | 23.92 | 1.20 | | | |
| 583 | 23.83 | 1.90 | 737 | 29.95 | 1.08 | B134 | 22.84 | 1.35 | B216 | 23.76 | 1.52 | B291 | 23.89 | 1.82 | B58A | 21.44 | 2.17 | | | |
| 592 | 21.71 | 0.51 | 738 | 21.42 | 0.42 | B135 | 19.79 | 1.39 | B22 | 31.50 | 1.21 | B292 | 28.54 | 0.92 | B59 | 20.76 | 0.48 | | | |
| 606 | 21.01 | 1.07 | 148A | 25.75 | 1.31 | B137 | 16.75 | 2.75 | B221 | 23.46 | 1.08 | B294 | 27.46 | 2.04 | B6 | 19.81 | 1.77 | | | |
| 607 | 22.14 | 0.90 | 148B | 28.81 | 1.30 | B138 | 22.82 | 1.26 | B222 | 19.36 | 1.92 | B295 | 23.45 | 0.71 | B61 | 24.47 | 1.23 | | | |
| 610 | 31.76 | 1.81 | 331A | 25.06 | 1.39 | B139 | 23.51 | 2.15 | B224 | 24.54 | 0.86 | B296 | 23.49 | 0.98 | B62 | 24.77 | 1.65 | | | |
| 631 | 27.24 | 0.82 | 432A | 27.06 | 0.38 | B14 | 27.47 | 1.51 | B227 | 22.61 | 1.94 | B297 | 26.42 | 0.99 | B63 | 21.69 | 1.56 | | | |
| 632 | 20.34 | 1.27 | 456B | 29.21 | 0.87 | B141 | 25.17 | 1.81 | B228 | 17.69 | 1.31 | B298 | 26.55 | 1.04 | B64 | 25.00 | 0.39 | | | |
| 633 | 24.61 | 1.09 | 456C | 23.22 | 0.59 | B144 | 26.06 | 0.91 | B229 | 16.86 | 1.46 | B299 | 24.04 | 1.45 | B65 | 23.31 | 2.23 | | | |
| 636 | 28.81 | 1.35 | 478A | 22.96 | 1.36 | B145 | 19.09 | 0.37 | B23 | 20.57 | 2.06 | B29A | 23.44 | 1.35 | B66 | 21.98 | 2.14 | | | |
| 637 | 26.68 | 1.40 | 478B | 23.07 | 2.19 | B146 | 16.50 | 2.69 | B231 | 26.93 | 0.77 | B3 | 23.60 | 1.23 | B67 | 24.25 | 0.37 | | | |
| 639 | 22.85 | 0.38 | 527A | 21.69 | 0.72 | B147 | 19.24 | 1.06 | B234 | 25.55 | 1.99 | B30 | 24.94 | 1.07 | B68 | 26.78 | 1.13 | | | |
| 640 | 22.83 | 1.87 | 533A | 23.21 | 1.52 | B148 | 15.80 | 0.91 | B236 | 26.08 | 2.41 | B301 | 20.67 | 2.40 | B6A | 23.18 | 0.36 | | | |
| 642 | 20.54 | 0.85 | 560A | 22.45 | 0.14 | B15 | 30.38 | 1.04 | B237 | 25.39 | 0.18 | B303 | 17.47 | 1.81 | B7 | 28.99 | 1.15 | | | |
| 645 | 18.27 | 0.75 | 569A | 32.61 | 1.77 | B150 | 17.10 | 0.36 | B238 | 25.09 | 0.27 | B306 | 25.91 | 0.38 | B70 | 19.34 | 1.94 | | | |
| 646 | 33.17 | 2.81 | 688A | 17.15 | 0.75 | B151 | 19.13 | 2.37 | B239 | 20.71 | 0.32 | B309 | 23.23 | 0.75 | B70A | 22.16 | 0.56 | | | |
| 649 | 28.67 | 2.16 | 698A | 31.01 | 0.58 | B153 | 26.34 | 1.27 | B23A | 22.79 | 0.89 | B31 | 22.63 | 0.56 | B72 | 18.00 | 1.88 | | | |
| 652 | 23.61 | 2.36 | 91A | 26.77 | 1.31 | B154 | 15.67 | 1.17 | B246 | 23.41 | 1.38 | B312 | 32.02 | 0.43 | B73 | 18.20 | 0.92 | | | |
| 657 | 27.97 | 2.44 | B10 | 23.71 | 0.57 | B155 | 21.59 | 0.54 | B248 | 21.18 | 1.26 | B318 | 29.24 | 2.37 | B75 | 21.94 | 0.98 | | | |
| 660 | 23.38 | 1.71 | B100 | 19.39 | 0.30 | B158 | 17.76 | 0.14 | B249 | 20.31 | 1.13 | B319 | 31.32 | 0.91 | B76 | 21.94 | 0.39 | | | |
| 661 | 29.66 | 0.54 | B101 | 24.57 | 0.25 | B16 | 29.84 | 0.82 | B25 | 24.37 | 0.50 | B32 | 24.83 | 1.65 | B77 | 27.64 | 1.42 | | | |
| 663 | 20.20 | 1.32 | B102 | 23.37 | 0.22 | B161 | 22.31 | 0.93 | B250-1 | 22.57 | 0.30 | B320 | 23.94 | 1.20 | B78 | 24.10 | 2.04 | | | |
| 664 | 24.13 | 1.15 | B103 | 26.98 | 2.44 | B165 | 17.53 | 1.59 | B252 | 28.48 | 1.21 | B321 | 20.78 | 1.07 | B79 | 23.09 | 1.23 | | | |
| 665 | 24.47 | 2.18 | B104 | 20.49 | 0.57 | B166 | 21.70 | 2.50 | B253 | 15.66 | 1.54 | B323 | 27.00 | 0.53 | B8 | 30.61 | 1.44 | | | |
| 667 | 27.82 | 0.82 | B105 | 20.93 | 0.32 | B189 | 25.41 | 0.61 | B254 | 17.18 | 1.51 | B325 | 23.80 | 0.36 | B80 | 25.02 | 0.09 | | | |
| | | | B106 | 22.22 | 2.41 | B19 | 29.41 | 1.58 | B256 | 24.23 | 1.04 | B326 | 27.04 | 1.87 | B81 | 27.98 | 1.07 | | | |

Anexo 4. Datos de macronutrientes y micronutrientes

| morfolo | % | | | | | | | ppm | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | Ni | Zn | Cu | B |
| 234 | 0.85 | 0.09 | 0.98 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | 14.75 | 6.30 | 4.82 |
| 241 | 0.91 | 0.12 | 1.09 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.04 | 17.33 | 10.20 | 5.59 |
| 287 | 0.87 | 0.11 | 1.02 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.04 | 12.52 | 8.17 | 4.63 |
| 290 | 0.80 | 0.10 | 1.18 | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 17.83 | 10.83 | 5.78 |
| 392 | 1.11 | 0.16 | 1.17 | 0.07 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 25.69 | 4.38 | 17.49 |
| 399 | 1.06 | 0.12 | 1.16 | 0.09 | 0.10 | 0.07 | 0.02 | 13.07 | 10.83 | 28.09 |
| 426 | 0.77 | 0.10 | 1.07 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.03 | 9.50 | 22.28 | 7.24 |
| 510 | 0.57 | 0.15 | 1.18 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 9.50 | 8.47 | 85.55 |
| 592 | 1.09 | 0.10 | 1.21 | 0.05 | 0.73 | 0.00 | 0.00 | 36.72 | 0.07 | 14.38 |
| 607 | 0.60 | 0.07 | 0.89 | 0.09 | 0.07 | 0.02 | 0.02 | 9.78 | 5.32 | 23.10 |
| 610 | 0.95 | 0.08 | 1.19 | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.02 | 9.75 | 6.80 | 5.79 |
| 631 | 0.90 | 0.05 | 1.02 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.02 | 14.50 | 14.78 | 25.35 |
| 639 | 0.60 | 0.07 | 0.88 | 0.07 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 16.60 | 2.17 | 16.80 |
| 642 | 0.74 | 0.06 | 1.06 | 0.08 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 17.41 | 2.98 | 17.18 |
| 646 | 0.74 | 0.07 | 1.08 | 0.07 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | 10.23 | 5.28 | 24.53 |
| 661 | 0.90 | 0.06 | 1.08 | 0.09 | 0.09 | 0.03 | 0.02 | 11.75 | 7.05 | 23.44 |
| 667 | 1.15 | 0.08 | 1.30 | 0.07 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | 11.98 | 11.22 | 30.09 |
| 672 | 0.98 | 0.05 | 1.23 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | 12.47 | 51.22 | 29.06 |
| 673 | 0.76 | 0.05 | 0.99 | 0.08 | 0.07 | 0.01 | 0.02 | 11.10 | 8.98 | 27.27 |
| 674 | 0.90 | 0.08 | 1.18 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.02 | 10.33 | 11.22 | 25.29 |
| 700 | 1.16 | 0.09 | 1.32 | 0.09 | 0.09 | 0.01 | 0.03 | 13.78 | 21.77 | 6.09 |
| 706 | 0.99 | 0.10 | 1.29 | 0.05 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 25.66 | 3.01 | 13.94 |
| 708 | 0.85 | 0.10 | 1.56 | 0.10 | 0.51 | 0.08 | 0.04 | 15.47 | 2.59 | 16.49 |
| 722 | 0.91 | 0.10 | 1.38 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 9.93 | 8.97 | 97.34 |
| 731 | 1.23 | 0.07 | 1.29 | 0.08 | 0.08 | 0.02 | 0.02 | 13.17 | 16.70 | 24.87 |
| 736 | 0.71 | 0.10 | 1.04 | 0.06 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 22.47 | 3.42 | 23.52 |
| 456B | 0.67 | 0.13 | 0.95 | 0.17 | 0.08 | 0.10 | 0.05 | 8.93 | 1.13 | 18.33 |
| 456C | 0.57 | 0.08 | 0.92 | 0.15 | 0.08 | 0.08 | 0.04 | 12.83 | 0.95 | 13.04 |
| 527A | 0.55 | 0.12 | 1.00 | 0.09 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 12.77 | 3.30 | 22.65 |
| 560A | 0.70 | 0.14 | 1.17 | 0.14 | 0.08 | 0.08 | 0.05 | 14.99 | 1.11 | 14.87 |
| 569A | 0.70 | 0.06 | 1.08 | 0.07 | 0.08 | 0.03 | 0.02 | 13.33 | 5.83 | 27.05 |
| 688A | 0.77 | 0.07 | 1.02 | 0.10 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 18.14 | 4.90 | 23.90 |
| 698A | 0.84 | 0.08 | 0.99 | 0.14 | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 16.46 | 0.77 | 10.09 |
| B10 | 0.95 | 0.09 | 1.39 | 0.08 | 0.71 | 0.00 | 0.00 | 17.33 | 1.08 | 5.33 |
| B100 | 1.33 | 0.13 | 1.61 | 0.13 | 0.09 | 0.07 | 0.04 | 17.84 | 0.38 | 14.21 |
| B104 | 1.11 | 0.08 | 1.51 | 0.16 | 0.09 | 0.06 | 0.04 | 18.57 | 2.68 | 17.16 |
| B105 | 0.67 | 0.06 | 0.88 | 0.13 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 17.65 | 3.04 | 14.39 |
| B107 | 0.97 | 0.06 | 1.08 | 0.13 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 13.17 | 0.43 | 11.44 |
| B108 | 0.66 | 0.11 | 1.40 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 8.73 | 18.58 | 91.75 |
| B109 | 0.87 | 0.08 | 0.96 | 0.12 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 14.31 | 0.59 | 13.35 |
| B11 | 1.37 | 0.02 | 1.62 | 0.10 | 0.09 | 0.06 | 0.02 | 77.28 | 11.73 | 21.80 |
| B111 | 0.55 | 0.07 | 1.00 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 14.67 | 42.67 | 23.89 |
| B118 | 0.64 | 0.08 | 1.01 | 0.13 | 0.07 | 0.07 | 0.04 | 18.45 | 2.98 | 12.36 |
| B120 | 0.85 | 0.08 | 1.25 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 17.82 | 0.05 | 101.31 |
| B123 | 0.71 | 0.06 | 0.98 | 0.09 | 0.06 | 0.01 | 0.03 | 11.73 | 7.03 | 22.62 |
| B124 | 0.61 | 0.06 | 0.81 | 0.15 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | 14.27 | 3.38 | 17.71 |
| B127 | 0.60 | 0.15 | 1.34 | 0.11 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 7.57 | 13.67 | 95.21 |
| B13 | 1.04 | 0.07 | 1.17 | 0.13 | 0.08 | 0.08 | 0.04 | 24.54 | 6.42 | 10.64 |
| B130 | 0.69 | 0.08 | 1.25 | 0.06 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 16.59 | 0.99 | 14.19 |
| B132 | 1.02 | 0.13 | 1.50 | 0.11 | 0.09 | 0.06 | 0.03 | 53.85 | 45.45 | 15.15 |
| B133 | 0.71 | 0.11 | 0.96 | 0.07 | 0.06 | 0.03 | 0.02 | 9.52 | 41.90 | 23.29 |
| B137 | 1.26 | 0.11 | 1.35 | 0.09 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 12.53 | 7.72 | 63.68 |
| B144 | 0.94 | 0.10 | 1.15 | 0.09 | 0.62 | 0.00 | 0.00 | 35.17 | 0.43 | 6.82 |
| B145 | 0.78 | 0.07 | 1.21 | 0.12 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 10.02 | 5.78 | 10.38 |
| B146 | 0.63 | 0.06 | 1.47 | 0.10 | 0.06 | 0.04 | 0.02 | 11.15 | 7.85 | 22.31 |
| B148 | 0.84 | 0.12 | 1.41 | 0.08 | 0.68 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 20.23 |
| B15 | 1.12 | 0.10 | 1.42 | 0.07 | 0.08 | 0.04 | 0.02 | 12.00 | 15.60 | 26.08 |
| B150 | 0.66 | 0.09 | 1.04 | 0.16 | 0.07 | 0.05 | 0.07 | 11.95 | 0.38 | 107.15 |
| B154 | 0.85 | 0.17 | 1.75 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.04 | 11.30 | 15.10 | 96.12 |
| B155 | 0.97 | 0.05 | 1.26 | 0.15 | 0.09 | 0.11 | 0.05 | 25.54 | 2.07 | 14.09 |
| B158 | 0.60 | 0.14 | 1.18 | 0.11 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 10.58 | 16.50 | 87.13 |
| B16 | 0.95 | 0.04 | 1.00 | 0.15 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 15.75 | 0.71 | 22.38 |
| B161 | 0.67 | 0.05 | 1.12 | 0.17 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 14.18 | 0.05 | 13.78 |
| B183 | 1.25 | 0.14 | 1.37 | 0.07 | 0.78 | 0.00 | 0.00 | 18.37 | 0.55 | 16.18 |
| B189 | 1.30 | 0.11 | 1.29 | 0.05 | 0.65 | 0.00 | 0.00 | 23.81 | 0.01 | 11.76 |
| B193 | 1.08 | 0.06 | 1.35 | 0.19 | 0.08 | 0.10 | 0.08 | 23.47 | 6.96 | 15.93 |
| B195 | 1.12 | 0.10 | 1.20 | 0.08 | 0.51 | 0.00 | 0.00 | 18.83 | 1.95 | 12.88 |
| B196 | 1.05 | 0.09 | 1.15 | 0.13 | 0.09 | 0.05 | 0.07 | 14.20 | 3.45 | 10.12 |
| B2 | 0.94 | 0.15 | 1.20 | 0.07 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 13.77 | 1.50 | 9.21 |
| B200 | 1.16 | 0.10 | 1.19 | 0.07 | 0.62 | 0.00 | 0.00 | 29.98 | 1.50 | 13.75 |
| B208 | 1.02 | 0.04 | 1.02 | 0.14 | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 20.68 | 0.05 | 11.81 |
| B215 | 1.40 | 0.18 | 1.79 | 0.11 | 0.10 | 0.12 | 0.04 | 25.64 | 9.36 | 92.96 |
| B229 | 1.12 | 0.11 | 1.86 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 15.23 | 14.97 | 90.29 |
| B231 | 0.83 | 0.05 | 0.89 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.03 | 17.18 | 10.00 | 20.86 |
| B239 | 0.99 | 0.13 | 1.24 | 0.09 | 0.37 | 0.02 | 0.02 | 18.07 | 0.47 | 13.55 |
| B254 | 1.64 | 0.23 | 1.95 | 0.09 | 0.10 | 0.11 | 0.04 | 14.70 | 16.13 | 91.60 |
| B265 | 1.30 | 0.14 | 1.27 | 0.09 | 0.79 | 0.00 | 0.00 | 16.65 | 1.41 | 10.27 |
| B271 | 0.76 | 0.08 | 1.26 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 13.77 | 9.31 | 101.55 |
| B272 | 0.94 | 0.13 | 0.99 | 0.07 | 0.46 | 0.00 | 0.00 | 14.16 | 0.45 | 7.65 |
| B276 | 0.80 | 0.15 | 1.09 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.02 | 10.45 | 13.43 | 27.96 |
| B283 | 0.88 | 0.11 | 1.25 | 0.08 | 0.08 | 0.03 | 0.02 | 10.65 | 16.43 | 25.96 |
| B288 | 0.92 | 0.07 | 1.02 | 0.09 | 0.07 | 0.00 | 0.02 | 16.35 | 29.03 | 23.62 |
| B292 | 0.88 | 0.00 | 1.40 | 0.11 | 0.09 | 0.06 | 0.03 | 19.92 | 9.32 | 14.60 |
| B297 | 0.71 | 0.10 | 1.08 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.03 | 13.40 | 9.22 | 18.61 |
| B303 | 1.04 | 0.20 | 1.45 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.04 | 10.18 | 21.38 | 90.84 |
| B312 | 0.80 | 0.14 | 1.10 | 0.11 | 0.57 | 0.00 | 0.01 | 12.78 | 2.67 | 15.33 |
| B319 | 0.97 | 0.11 | 1.37 | 0.10 | 0.07 | 0.00 | 0.02 | 9.50 | 7.35 | 28.75 |
| B323 | 0.64 | 0.12 | 1.09 | 0.07 | 0.42 | 0.01 | 0.00 | 12.89 | 2.17 | 10.79 |
| B331 | 0.94 | 0.21 | 1.35 | 0.17 | 0.53 | 0.00 | 0.00 | 12.91 | 3.16 | 24.58 |
| B34 | 1.05 | 0.15 | 1.17 | 0.06 | 0.71 | 0.00 | 0.00 | 22.38 | 2.45 | 20.04 |
| B37 | 1.22 | 0.14 | 1.57 | 0.09 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 23.61 | 3.74 | 15.87 |
| B55 | 1.15 | 0.00 | 1.22 | 0.09 | 0.08 | 0.06 | 0.02 | 18.82 | 13.43 | 15.09 |
| B67 | 0.76 | 0.07 | 0.90 | 0.09 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 16.60 | 3.05 | 15.37 |
| B73 | 0.90 | 0.09 | 1.34 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 13.73 | 0.15 | 12.73 |
| B8 | 0.95 | 0.07 | 1.44 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.02 | 61.43 | 16.37 | 22.92 |
| B85 | 1.18 | 0.15 | 2.30 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.04 | 19.68 | 46.53 | 6.54 |
| B87 | 1.29 | 0.09 | 2.17 | 0.10 | 0.10 | 0.06 | 0.02 | 14.88 | 8.42 | 24.02 |
| B94 | 0.85 | 0.10 | 1.24 | 0.08 | 0.64 | 0.00 | 0.00 | 27.51 | 3.91 | 8.77 |
| B97 | 0.90 | 0.08 | 1.33 | 0.16 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 14.04 | 1.45 | 11.00 |
| CHOC160 | 0.77 | 0.11 | 1.05 | 0.06 | 0.69 | 0.00 | 0.01 | 9.18 | 0.34 | 9.83 |