



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

ELEMENTOS NUTRITIVOS A TENER EN CUENTA PARA EL MANEJO
DE LA FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE LA PAPA COMÚN.

MARIN BARRETO JOFFRE GONZALO
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

ELEMENTOS NUTRITIVOS A TENER EN CUENTA PARA EL
MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE LA PAPA
COMÚN.

MARIN BARRETO JOFFRE GONZALO
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

ELEMENTOS NUTRITIVOS A TENER EN CUENTA PARA EL MANEJO DE LA
FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE LA PAPA COMÚN.

MARIN BARRETO JOFFRE GONZALO
INGENIERO AGRÓNOMO

RODRIGUEZ DELGADO IRAN

MACHALA, 27 DE FEBRERO DE 2023

MACHALA
27 de febrero de 2023

Elementos nutritivos a tener en cuenta para el manejo de la fertilización en el cultivo de la papa.

por Joffre Gonzalo Marin Barreto

Fecha de entrega: 14-feb-2023 06:51p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2014379117

Nombre del archivo: TRABAJO_DE_TITULACION_Joffre_Marin.docx (225.39K)

Total de palabras: 4902

Total de caracteres: 25435

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, MARIN BARRETO JOFFRE GONZALO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Elementos nutritivos a tener en cuenta para el manejo de la fertilización en el cultivo de la papa común., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

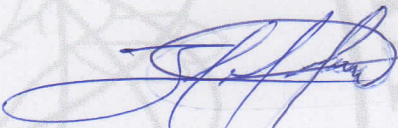
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 27 de febrero de 2023



MARIN BARRETO JOFFRE GONZALO
0705963692

ÍNDICE

RESUMEN	5
1. INTRODUCCIÓN	7
2. DESARROLLO	9
2.1. Papa común.....	9
2.1.1. Origen e historia de la papa.....	9
2.1.2. Valor nutritivo e importancia.....	10
2.1.3. Producción mundial y nacional de la papa común	10
2.1.4. Requerimientos edafoclimáticos	12
2.2. Características de la planta de papa común	12
2.2.1. Taxonomía	12
2.2.2. Morfología.....	13
2.2.2.1. Raíces	13
2.2.2.2. Tallos	13
2.2.2.3. Hojas.....	13
2.2.2.4. Flor	14
2.2.2.5. Fruto	14
2.3. Nutrición.....	14
2.3.1. Nitrógeno	15
2.3.2. Fósforo	16
2.3.3. Potasio.....	16
2.3.4. Calcio	17
2.3.5. Magnesio	17
2.3.6. Azufre	18
2.3.7. Cobre	18
2.3.8. Boro	18
2.3.9. Molibdeno	19
2.3.10. Zinc	19
2.4. Fertilidad del suelo	19
2.5. Fertilización inorgánica.....	20
2.6. Fertilización orgánica.....	21
2.7. Ventajas y desventajas de la fertilización orgánica e inorgánica	22
CONCLUSIONES	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producción de papa común a nivel mundial.....	11
Figura 2 Producción de papa común en Ecuador.....	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la planta de la papa.	12
Tabla 2 Requerimientos nutricionales del cultivo de la papa común en función de reportes mundiales.	15

RESUMEN

La papa común requiere grandes cantidades de macronutrientes primarios que son: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), La mayor parte de la absorción de nitrógeno por la planta se produce antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo, por lo que más del 50% se consume antes de la madurez del tubérculo, requiriendo de 2,56 kg de N, 0,47 kg de P y 4,0 kg de K por tonelada obtenida. Entonces así se espera producir 60 t/ha, las necesidades de N, P y K serian de 153, 28 y 240 kg/ha respectivamente (2,56 x 60, 0,47 x 60, 4,0 x 60). Además, necesita la aplicación de macronutrientes secundarios como: magnesio (Mg), calcio (Ca) y azufre (S), clave en el metabolismo de la planta. También se debería aplicar micronutrientes en menores cantidades (Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo). Estos son generalmente adquiridos de la solución del suelo por el sistema radicular. Para una nutrición adecuada y evitar toxicidades minerales, las concentraciones de estos elementos en los tejidos vegetales deben mantenerse dentro de ciertos límites. A menudo, la solución del suelo carece de suficientes elementos minerales para el crecimiento óptimo de las plantas y para lograr la máxima producción de tubérculos, rendimientos, se añaden fertilizantes a los suelos. El cultivo de papa común no existe una dosis única de fertilizante óptima, por lo tanto, cada agricultor debe calcular su propia tasa de fertilización, de acuerdo a diferentes factores entre ellos: suelo, clima y rendimiento esperado.

Palabras Clave: fertilización, nutrición, macronutrientes, papa común.

ABSTRACT

The common potato requires large amounts of primary macronutrients that are nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K). Most of the nitrogen uptake by the plant occurs before the period of maximum growth and development of the tuber, therefore More than 50% is consumed before tuber maturity, requiring 2.56 kg of N, 0.47 kg of P and 4.0 kg of K per ton obtained, so it is expected to produce 60 t/ha. The N, P, K needs would be of 153.28 and 240 Kg ha respectively (2.56×60 , 0.47×60 , 4.0×60). In addition, it requires the application of secondary macronutrients such as Magnesium (Mg), Calcium (C) and Sulfur (S), key in plant metabolism. Micronutrients should also be applied in less quantities (Fe, MN, B, Zn, Cu, Mo). these are generally acquired from the soil solution by the root system. For adequate nutrition and to avoid mineral toxicities, concentrations of these elements in plant tissues must be kept within certain limits. Often, the soil solution lacks sufficient mineral elements for optimum plant growth and to achieve maximum tuber yields, fertilizers are added to the soil. In the common potato crop, there is no single optimal fertilizer dose, therefore, each farmer must calculate his own fertilization rate, according to different factors among them; soil, climate and expected yields

Keywords: fertilization, nutrition, macronutrients, common potato.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la intensificación de la agricultura se consigue mediante el uso de grandes cantidades de fertilizantes y herbicidas, que pueden contaminar el medio ambiente y afectar a la salud de la población local. También puede afectar a la fertilidad y la erosión del suelo si no se mantienen sus propiedades. Mientras tanto, la expansión agrícola se ha convertido en la segunda mayor amenaza mundial para la conservación de la biodiversidad (Shoushtarian & Negahban-Azar, 2020). Cerca de tres cuartas partes de los bosques del mundo se están perdiendo como consecuencia de las políticas de expansión agrícola (Aznar-Sánchez et al., 2019).

El cultivo de la papa fue uno de los primeros en adoptar el modelo de producción de la llamada "revolución verde". Aunque la erosión genética se ha visto acelerada por la especialización en determinadas variedades, aún existen unas 5.000 especies de papas en el mundo, de las cuales tres quintas partes se distribuyen en los Andes. Una medida para mejorar la productividad de la papa es el uso de productos químicos para el control de plagas y la aplicación de fertilizantes (Singaña, 2021).

Según datos y las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT), los cambios en el rendimiento de la papa común a lo largo del tiempo se caracterizan por ciclos mundiales y regionales. Los últimos datos reportados indican que Ecuador produjo en el año 2021, 244.749 toneladas de papa fresca (FAOSTAT, 2023a), esto representa una producción considerable especialmente en la región sierra del Ecuador.

En Ecuador, la producción de papa es más arriesgada y cara que otros cultivos de montaña. El cultivo está expuesto a muchos riesgos climáticos sobre los que no tiene control, y las plagas suelen controlarse con insecticidas y fungicidas importados (Singaña, 2021). Además, la productividad marginal de estos insumos puede superar el coste marginal.

Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es ofrecer una visión general de los macronutrientes N, P, K, magnesio (Mg), calcio (Ca) y azufre (S) en términos de su papel clave en el metabolismo de la planta; su papel en la conformación de la productividad de la papa; y las interacciones con los factores abióticos que afectan a la disponibilidad de la planta.

Objetivo general

- Establecer los elementos nutritivos fundamentales en el cultivo de la papa común, mediante una revisión de literatura actualizada que posibilite un adecuado manejo agronómico de la fertilización.

Objetivos específicos

- Identificar los nutrientes más importantes a considerar para la fertilización del cultivo de la papa común

2. DESARROLLO

2.1. Papa común

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) es el cuarto cultivo más consumido en el mundo después del trigo, el maíz y el arroz, y su valor nutritivo es superior al de éstos. Perú es el primer productor de papas, con más de 3.000 variedades. Sin embargo, su cultivo está sujeto a una serie de limitaciones, como el empobrecimiento del suelo, el uso indiscriminado de pesticidas y la presencia de plagas y patógenos vegetales, que reducen la eficacia, la productividad y la rentabilidad del cultivo. También hay que tener en cuenta que el uso generalizado de plaguicidas para controlar plagas y patógenos puede provocar la aparición de resistencias en los organismos (Caro et al., 2019).

2.1.1. Origen e historia de la papa

Las papas se originaron como tetraploides a través de cruces sucesivos entre diploides del complejo *S. brevicaulis* y la posterior duplicación de cromosomas. Se considera que *S. stenotomum* es la primera especie diploide cultivada que produce el tipo de papa androgénica, tras haber sido seleccionada a partir de las especies silvestres *S. bukasovii*, *S. canasense* y *S. multidissectum*. Posteriormente fue mejorada y ampliamente difundida mediante la placación sexual y la hibridación intergenética o intragenética. Ahora se conoce como *S. andigena* o grupo Andigena. Este grupo se caracteriza por ser tetraploide y altamente polimórfico y se considera el más cercano genéticamente a la subespecie *S. tuberosum* o grupo *S. tuberosum* Chilotanum y sus posibles ancestros. Se dice que los tubérculos se cultivaban en la costa de Chile y desde allí se extendieron por todo el mundo, conocidos colectivamente como *Solanum tuberosum* (Rodríguez, 2010).

El tubérculo se cultivaba entre los años 8000 y 5000 a.C. en la zona conocida actualmente como Puno. Su presencia en otras partes del continente es completamente desconocida, ya que sólo se cultivaba en los Andes y el sur de Perú. Con la globalización y la posterior conquista europea de Sudamérica, la papa fue descubierta por primera vez por los europeos. Algunos colonos los consideraban un alimento extraño con propiedades lubricantes. Sin embargo, ya estaban muy extendidas en los territorios incas, donde la población conocía su variedad y valor nutritivo y las preparaba y consumía como ingrediente de diversos platos (Garzón, 2016).

2.1.2. Valor nutritivo e importancia

La papa es el cuarto cultivo mundial después del arroz, el trigo y el maíz, y es el único tubérculo básico. Las papas contienen muchas vitaminas y minerales. Cuando se comparan como porcentaje de la cantidad diaria recomendada (CDR) para una caloría determinada, muchas vitaminas y minerales superan el porcentaje de calorías. Las papas son una conocida fuente de vitamina C. Según la base de datos de la USDA, una papa mediana tiene (173 g) aporta aproximadamente el 36% de las CDR. La vitamina C desempeña un papel importante en la desintoxicación de las especies reactivas del oxígeno en las plantas y es la principal fuente de vitamina C en la dieta humana (Ravensbergen et al., 2023).

2.1.3. Producción mundial y nacional de la papa común

En Ecuador, la producción de papas es más arriesgada y cara que otros cultivos de montaña. El cultivo está expuesto a muchos riesgos climáticos sobre los que no tiene control, y las plagas suelen controlarse con insecticidas y fungicidas importados. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT), los cambios en el rendimiento de la papa a lo largo del tiempo se caracterizan por ciclos mundiales y regionales. Los últimos datos reportados indican que Ecuador produjo en el 2021, con 244.749 toneladas de papa fresca (FAOSTAT, 2023a).

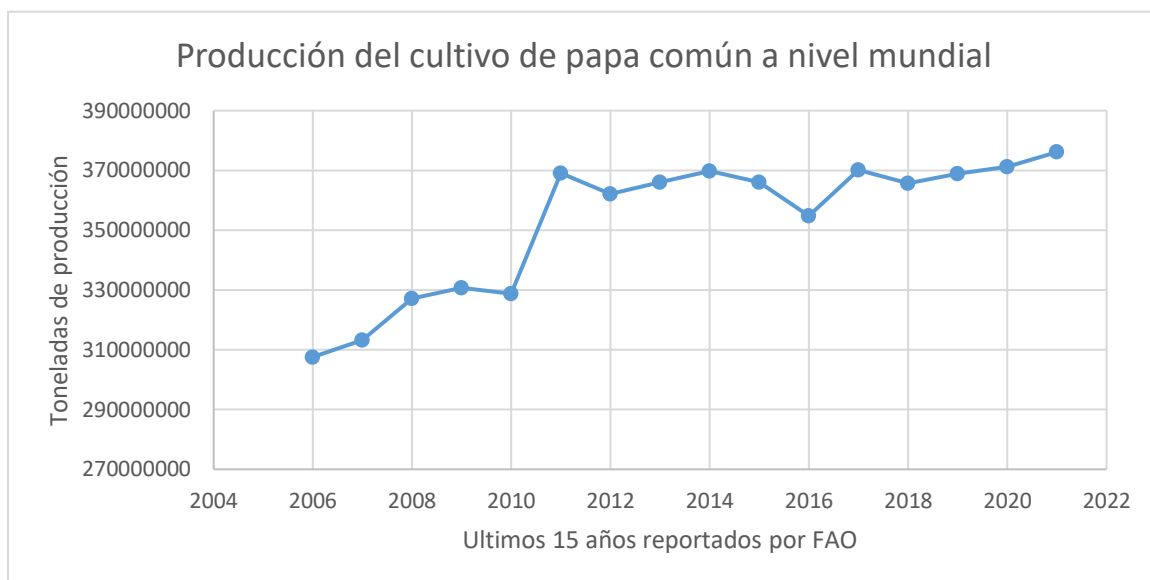


Figura 1 Producción de papa común a nivel mundial, desde el año 2006 al 2021.

Fuente: FAOSTAT (2023)

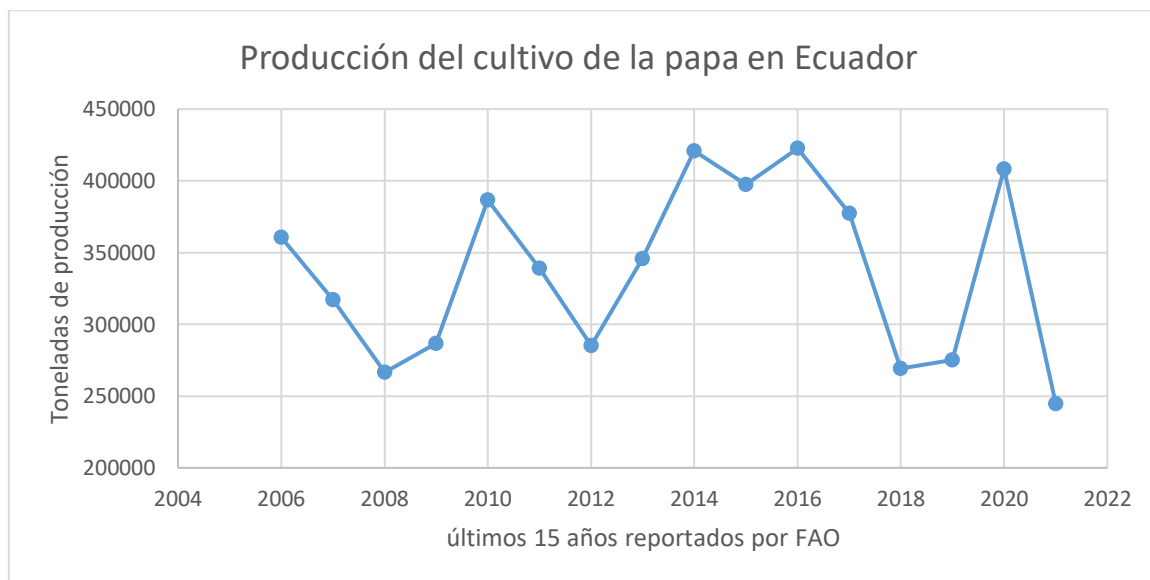


Figura 2 Producción de papa común en Ecuador, desde el año 2006 al 2021.

Fuente: FAOSTAT (2023)

2.1.4. Requerimientos edafoclimáticos

Las papas pueden cultivarse en casi todos los tipos de suelo, con la excepción de los suelos salinos y alcalinos. Los suelos más adecuados son los que son naturalmente sueltos y ofrecen menos resistencia al crecimiento de los tubérculos. Los suelos ricos en materia orgánica y los arenosos con buen drenaje y aireación son los mejores para las papas. El suelo ideal es el que tiene un pH comprendido entre 5,2 y 6,4 y en cuanto al clima es un cultivo templado, pero crece en todos los climas. Sólo crecerá a temperaturas moderadas durante el periodo de crecimiento. El crecimiento asexual de la planta es mejor a 24°C y el desarrollo del tubérculo a 20°C. De ahí que la papa se cultive como cultivo de verano en las zonas montañosas y como cultivo de invierno en las regiones tropicales y subtropicales. Puede cultivarse hasta a 3.000 m de altitud.

2.2. Características de la planta de papa común

2.2.1. Taxonomía

En cuanto, a la taxonomía del cultivo Rodríguez, (2009), indica que la taxonomía de la papa es:

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la planta de la papa.

Reino: Plantae

División: Magoliophyta.

Clase: Magnoliopsida.

Subclase: Asteridae.

Orden: Solanales.

Familia: Solanáceas.

Género: *Solanum*.

Especie: *S. Tuberosum*.

Nombre científico: *Solanum tuberosum*

2.2.2. Morfología

2.2.2.1. Raíces

El cultivo de papa puede cultivarse a partir de semillas o tubérculos. Si se cultivan a partir de semillas, forman una raíz fina con ramas laterales. Si se cultivan a partir de tubérculos, forman raíces adventicias primero en la base de cada brote y después por encima del nudo de la parte subterránea de cada tallo. A veces, los estolones también forman raíces (Daros et al., 2002).

2.2.2.2. Tallos

El sistema estomático de la papa se compone de tallos, estolones y tubérculos. Las plantas con semillas verdaderas sólo tienen un tallo principal, mientras que las tuberosas pueden tener varios. Las filas laterales se ramifican a partir del tallo principal. La sección transversal del tallo de la papa es de redonda a angular. Las hojas suelen formarse en los bordes angulosos (Daros et al., 2002).

Los estolones de la papa son tallos subterráneos horizontales que crecen a partir de brotes en la parte subterránea del tallo. Los estolones largos son característicos de las papas silvestres, y uno de los objetivos de la mejora genética de la papa es producir estolones cortos. Se pueden formar estolones en los tubérculos extendiendo sus extremos. Sin embargo, no todos los estolones pueden convertirse en tubérculos. Los estolones desnudos pueden convertirse en tallos erectos con follaje normal (Reddy et al., 2018).

2.2.2.3. Hojas

Las hojas se disponen en espiral sobre el tallo. Las hojas suelen ser compuestas, con un eje central y varios lóbulos. Cada eje puede tener varios pares de lóbulos principales laterales y terminales. La parte inferior del pecíolo, por debajo del par principal de lóbulos, se denomina pecíolo. Cada folíolo puede estar unido al cuerpo fructífero por un pecíolo, denominado pecíolo, o directamente unido sin pecíolo, en cuyo caso se denomina folíolo sésil. Esta secuencia regular de hojas primarias puede verse alterada por la presencia de pequeñas hojas secundarias. Las alas o costillas del tallo pueden extenderse hacia abajo desde la inserción del pecíolo (Reddy et al., 2018).

2.2.2.4. Flor

Las flores suelen dividirse en dos secciones, cada una de las cuales se divide en otras dos ramas. Esto forma una inflorescencia llamada cimosa. De las ramas de la inflorescencia surgen tallos floríferos con cálices en el extremo superior. Cada tallo tiene una articulación en la que las flores o los frutos se desprenden del tallo. En algunos cultivares, esta articulación está pigmentada. Las flores de la papa son hermafroditas (hay dos sexos) y constan de cuatro partes principales: cáliz, corola, estambre y pistilo (Reddy et al., 2018).

2.2.2.5. Fruto

Tras la fecundación, el ovario se convierte en un fruto llamado baya, que contiene muchas semillas. El fruto suele ser globoso, pero en algunos cultivares tiene forma ovoide o cónica. El fruto suele ser verde, aunque algunos cultivares presentan manchas o rayas blancas o pigmentadas. El número de semillas por fruto alcanza más de 200, dependiendo de la fertilidad de cada cultivar. Las semillas son planas, ovaladas y pequeñas (1.000-1.500 semillas/g). Cada semilla está rodeada por una capa llamada testículo, que protege el embrión y un tejido de reserva nutricional llamado endospermo. Las semillas también se conocen como semillas verdaderas o semillas vegetales para distinguirlas de los tubos de semillas utilizados para la producción (Reddy et al., 2018).

2.3. Nutrición

La papa común requiere grandes cantidades de nutrientes, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) durante toda la temporada de crecimiento (White et al., 2007), lo que conlleva altos costes de producción y un uso excesivo de recursos (pesticidas, agua y fertilizantes), este cultivo se informa que toma 220, 20, 240, 60 y 20 t/ha con aportes de N, P, K, Ca y Mg para obtener producciones de 20 t/ha, lo que indica elevadas necesidades de nutrientes del cultivo (Mikkelsen, 2011). La mayor parte de la absorción de nitrógeno por la planta se produce antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo, por lo que más del 50% se consume antes de la madurez del

tubérculo, requiriéndose 7 kg ha/día, y las necesidades de fósforo varían entre 0,4 y 0,9 kg ha/día en función de la variedad y el clima. Para el K, el consumo es de 5-14 kg/ha/día (White et al., 2007).

El nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) son los nutrientes que más se aplican en el cultivo de la papa. Esto puede explicar por qué hay más bibliografía sobre estos nutrientes en relación con la producción de papas, sobre todo en lo que se refiere a estrategias y recomendaciones de fertilización. Desgraciadamente, en general hay menos bibliografía sobre prácticas de fertilización para nutrientes distintos del N, el P y el K (Koch et al., 2019) (Tabla 2).

Tabla 2 Requerimientos nutricionales del cultivo de la papa común en función de reportes mundiales.

Country/region	Soil type	Recommended fertilisation dose (kg ha ⁻¹)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
Germany (Agricultural Chamber of Lower Saxony)	Varying	¹ 160	² 70–100	80–300	60	–
Germany (Agricultural Chamber of North Rhine-Westphalia)	Varying	¹ 120–160	²	150–300	70	–
UK (DEFRA recommendation system) ³	Varying	40–270	0–250	0–360	0–120	–
Netherlands	Varying	0–140 ⁴	20–185	0–320 (440)	0–200	–
India (North-western hill zone) ⁵	Acidic hill soil	120–150	100–150	120	–	–
India (North-eastern hill zone)	Acidic hill soil	100–120	120–150	60	–	–
India (North-western, -eastern and -central plain zone)	Alluvial	180–240	80–100	100–150	–	–
India (Plateau zone)	Black	100–120	60	60	–	–
India (Nilgiri zone)	Acidic hill	90–120	135–150	90	–	–
South Africa ⁶	Varying	110–130 ⁷	70–300 ⁸	60–340 ⁹	0–105 ¹⁰	0–1125

Fuente: (Koch et al., 2020).

2.3.1. Nitrógeno

El nitrógeno es el elemento más importante para el crecimiento y el desarrollo de las plantas y el principal factor de formación de rendimientos. Sin embargo, muchos estudios han indicado que la eficacia del nitrógeno aplicado es baja. En el caso de la papa, la eficiencia de utilización del nitrógeno es de aproximadamente el 50%, inferior a la de

otras plantas (Vos, 2009). La eficacia de los fertilizantes disminuye al aumentar el uso de nitrógeno, pero aumenta cuando las dosis se distribuyen antes de la siembra y entre las aplicaciones de fertilizantes. El bajo uso de nitrógeno tiene consecuencias económicas y medioambientales. El nitrógeno que no es asimilado por los cultivos y los microorganismos se pierde en grandes cantidades a través de diversos procesos (Kolodziejczyk, 2014).

2.3.2. Fósforo

El fósforo tiene varios efectos sobre la calidad de los tubérculos, ya que interviene en la división celular, la síntesis del almidón y el almacenamiento de los tubérculos. Por lo tanto, el P puede aumentar el tamaño de los tubérculos y el porcentaje de materia seca (MS) (basado en el peso específico). Sin embargo, cuando la disponibilidad de P en el suelo es alta, puede reducir el rendimiento de los tubérculos más grandes sin afectar al peso específico de los tubérculos. En algunos casos, la fertilización con fósforo contribuyó a un aumento significativo del tamaño de los tubérculos y del rendimiento, pero también se observó una reducción del peso específico de los tubérculos, dependiendo de la dosis de fósforo. La gestión del suelo y la disponibilidad de nutrientes también pueden afectar a la composición química del producto cosechado (Neumann et al., 2012).

El fósforo se considera el segundo nutriente limitante más abundante para las plantas. Es un componente importante del ácido desoxirribonucleico (ADN), sede de la herencia genética, y del ácido ribonucleico (ARN), que dirige la síntesis de proteínas en plantas y animales. Los fosfolípidos, que desempeñan un papel importante en las membranas celulares, son también una clase universalmente importante de compuestos que contienen fósforo. El fósforo es, por tanto, esencial para la salud y la supervivencia de todas las plantas. Entre los factores de crecimiento específicos asociados al fósforo se incluyen el desarrollo acelerado de las raíces, el aumento de la resistencia del tallo y el tronco, la mejora de la formación de flores y la producción de semillas, cosechas más uniformes y tempranas, la mejora de la capacidad de fijación de nitrógeno en las leguminosas y la mejora de la calidad de los cultivos (Kahsay, 2019).

2.3.3. Potasio

El potasio (K) desempeña un papel importante en el vigor, la vitalidad y la eficiencia de las plantas de papa. La papa se considera a veces un cultivo indicador de la

disponibilidad de K^+ debido a sus elevadas necesidades de K. La información sobre los patrones de producción de materia seca de la papa y la acumulación de nutrientes puede ser útil para el diseño de programas de fertilización. Las variedades de papa de alto rendimiento requieren grandes cantidades de K para su crecimiento y desarrollo, pero pueden no necesitar grandes cantidades de abono de K en la cosecha de cada año (Roberts & Mc Dole, 2015).

2.3.4. Calcio

Rara vez hay suficiente Ca procedente de la solución del suelo para que las plantas crezcan, con concentraciones de Ca en la solución raíz que suelen rondar los milimoles. Sin embargo, la deficiencia de Ca puede producirse en plantas cultivadas en suelos tropicales muy erosionados con bajo Ca total, en suelos muy ácidos donde el Al inhibe la absorción de Ca, y en suelos sódicos donde el exceso de sodio (Na) inhibe la absorción de Ca. Los suelos sódicos o salinos se encuentran en todo el mundo, pero principalmente en las regiones subtropicales secas. Además, en horticultura se producen varias enfermedades costosas por deficiencia de Ca cuando el desarrollo de los tejidos se vuelve temporalmente deficiente en Ca. El suministro de Ca a los cultivos de campo viene determinado por varios aspectos de la química del suelo, como la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de Ca en el conjunto de cationes principales, la tasa de liberación de Ca en la mineralización de la materia orgánica del suelo y el pH de la solución del suelo (White & Broadley, 2009).

2.3.5. Magnesio

A menudo se hace referencia al magnesio (Mg) como el "elemento olvidado en la producción de cultivos", ya que a menudo se subestiman su suministro y sus necesidades. Sin embargo, la carencia de Mg puede reducir el crecimiento y el rendimiento, especialmente debido a algunas de sus funciones clave, como la fotosíntesis, la descomposición fotosintética, la síntesis de proteínas y la regulación enzimática. Junto con el K, el Mg funciona como catión en procesos fisiológicos similares, como la regulación del equilibrio entre cationes y aniones y la regulación de la tensión celular como ion osmóticamente activo. Al igual que el K, el Mg también estabiliza el pH para que las enzimas fotosintéticas puedan funcionar con normalidad. La función más conocida del Mg en la fotosíntesis es la de átomo central de la molécula de clorofila, una

molécula orgánica que absorbe la luz solar, transfiere electrones y los convierte en energía química (Koch et al., 2020).

2.3.6. Azufre

Las plantas de papa con bajo contenido en azufre presentan una deficiente utilización del nitrógeno, el fósforo y el potasio, y la actividad de la peroxidasa se reduce significativamente a todas las edades. El cultivo intensivo y el uso de fertilizantes de alta calidad provocan el agotamiento del azufre del suelo. En ausencia de azufre, se reducen el rendimiento de materia seca del tubérculo y las concentraciones de materia seca, almidón y aminoácidos esenciales (especialmente cistina y leucina). El azufre influye directamente en las propiedades del suelo, ya que reduce su pH y aumenta así la disponibilidad de oligoelementos como el Fe, el Zn, el Mn y el Cu, mejorando el rendimiento y las características de los cultivos. En estudios anteriores se ha señalado la necesidad de aplicar azufre y sus efectos beneficiosos sobre el rendimiento y la calidad. Por lo tanto, se realizó un experimento para estudiar el efecto del azufre sobre el rendimiento y la calidad de las variedades de papa en condiciones agroclimáticas (Sharma et al., 2011).

2.3.7. Cobre

En el cultivo de la papa, el cobre forma parte de las enzimas que intervienen en el metabolismo de los hidratos de carbono y las proteínas y actúa como catalizador de la fotosíntesis y la respiración. El cobre también es necesario para la formación de recubrimientos que garantizan la resistencia y la integridad de la pared celular, lo que es especialmente importante para el sistema vascular (Ferreira et al., 2014).

2.3.8. Boro

El boro (B) interviene en la síntesis de la citoquinina, que es necesaria para el proceso de formación de sedimentos y también se requiere durante la formación de los tubérculos, y se considera el micronutriente más importante para obtener un alto rendimiento de la papa (Pérez et al., 2008). El boro es un oligoelemento importante para las plantas y es deficiente en suelos débilmente alcalinos con bajo contenido en materia orgánica y pH elevado. La carencia de B es uno de los principales factores que limitan la producción de papas, y añadir B al suelo tiene un efecto beneficioso. Una buena aplicación de 1,1 kg B ha⁻¹ en suelo alcalino dio como resultado el máximo peso fresco,

el máximo número de tubérculos, el máximo contenido de materia seca y el máximo rendimiento de tubérculos de papa. El B está ligado a la materia orgánica del suelo y sólo está disponible durante la descomposición, por lo que se libera lentamente del suelo (Tariq et al., 2022).

2.3.9. Molibdeno

La carencia de molibdeno se asocia principalmente a un mal estado del nitrógeno, siendo el nitrato la principal forma de nitrógeno disponible para el crecimiento de las plantas. Las plantas que sufren carencias de molibdeno tienen un crecimiento y un desarrollo limitados, las hojas palidecen, la formación de flores se ve afectada y acaban muriendo. En las plantas dicotiledóneas, los síntomas típicos más evidentes son la formación anormal de hojas (bursa) y una marcada reducción de tamaño. Esto se debe a la insuficiente diferenciación del haz vascular y a la necrosis tisular localizada durante las primeras fases de desarrollo de la hoja. Las plantas deficientes en molibdeno muestran fenotipos característicos, como cambios morfológicos en las hojas y lesiones (Hu, 2020).

2.3.10. Zinc

El zinc es un nutriente agrícola muy importante, que desempeña un papel clave en el crecimiento y desarrollo de la papa al favorecer la síntesis de hormonas de crecimiento y clorofila. El zinc está presente en el suelo en diversas formas, como sulfato, soluble en agua, intercambiable, unido a materia orgánica e inmovilizado por minerales arcillosos adicionales (Singh et al., 2018).

2.4. Fertilidad del suelo

Las plantas de papa requieren de 14 elementos minerales esenciales, que incluyen macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y oligoelementos (Cl, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo y Ni). Estos son generalmente adquiridos de la solución del suelo por el sistema radicular. Para una nutrición adecuada y evitar toxicidades minerales, las concentraciones de estos elementos en los tejidos vegetales deben mantenerse dentro de ciertos límites. A menudo, la solución del suelo carece de suficientes elementos minerales para el crecimiento óptimo de las plantas y para lograr la máxima producción de tubérculos .rendimientos, se añaden fertilizantes a los suelos (White et al., 2007).

Además de otras estrategias agronómicas, el aporte adecuado de nutrientes es de vital importancia para conseguir el rendimiento deseado de la papa. Para encontrar el

nivel óptimo de suministro de nutrientes, es importante, como primer paso, comprender las funciones fisiológicas individuales de cada nutriente. Además, también deben tenerse en cuenta las características resultantes, como el antagonismo de nutrientes o los efectos específicos del lugar que proporcionan las diferentes condiciones ambientales abióticas y bióticas. Basándose en este conocimiento fundamental, un cultivador de papas puede decidir la elección precisa del tipo, momento y cantidad de aplicación de fertilizantes (Koch et al., 2020).

2.5. Fertilización inorgánica

En primer lugar, debe realizarse un análisis del suelo cada seis meses o anualmente para considerar el estado del suelo del campo antes de cualquier aplicación de fertilizantes o laboreo. No hay dos campos iguales y no se pueden dar recomendaciones de fertilización sin tener en cuenta los datos del análisis del suelo, el análisis de los tejidos y el historial de crecimiento del campo. No obstante, he aquí los métodos de fertilización de la papa más utilizados por muchos agricultores (Wichrowska & Szczepanek, 2020).

La intensificación de la agricultura ha llevado a generalizar el uso de fertilizantes inorgánicos, fáciles de aplicar y cuyos nutrientes son fácilmente absorbidos por las plantas. Sin embargo, la aplicación de fertilizantes minerales suele ir asociada a una baja eficacia nutritiva y, en algunos casos, a un alto riesgo de contaminación ambiental. Los fertilizantes nitrogenados son los más controvertidos por el alto riesgo de lixiviación de los nitratos y las emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera (Lopes et al., 2021).

En cuanto a la fertilización inorgánica uno de los fertilizantes a destacar es el fósforo también pues es un tema delicado, ya que es un nutriente que limita el crecimiento de las plantas en muchas partes del mundo, y el fosfato, fuente de los fertilizantes fosfatados, es un recurso finito que se agotará este siglo al ritmo actual de extracción. Reducir la dependencia de los fertilizantes químicos para restaurar la fertilidad del suelo es, por tanto, cada vez más importante por varias razones. En este sentido, los residuos de las actividades domésticas y agroindustriales pueden reducir la dependencia de los fertilizantes inorgánicos debido a su elevado costo (Lopes et al., 2021).

Las papas suelen necesitar grandes cantidades de nutrientes para producir rendimientos aceptables. En la actualidad, los agricultores aplican de 0 a 5 fertilizantes diferentes durante los 3-4 meses de crecimiento de la planta. La mayoría de los agricultores aplican fórmulas de fertilizantes complejo como; 15-15-15 de N, P y K al

mismo tiempo que plantan (la mayoría de los cultivadores de papas pueden añadir abono al suelo) (KOŁODZIEJCZYK, 2014).

Las raíces de la papa son relativamente superficiales, y la mayoría de ellas están situadas entre 1,5 y 2 pies por encima del suelo. Se recomienda utilizar una banda de abono de 2 a 3 cm por encima del tubérculo en el momento de la plantación, (Ravensbergen et al., 2023).

En cuanto, a la parte nutricional Li et al., (2022) ha reportado que existen diferentes niveles de aplicación combinada de N-P-K los cuales son los principales nutrientes que requiere el cultivo, la cual influye en efectos sobre la acumulación de materia seca y el rendimiento de tubérculos. Las aplicaciones con (N150-P112.5-K120) se han reportado que tienen el mayor peso de tubérculo y rendimiento por planta en este ensayo, significativamente superior al testigo. Estos resultados sugieren que el tratamiento N150-P112,5-K120 es el más beneficioso para estimular el crecimiento de los tubérculos de papa en esta región productora de China y que el desequilibrio en la aplicación de fertilizantes N, P y K puede tener un impacto negativo en las ventas y el rendimiento de la papa.

2.6. Fertilización orgánica

Hasta ahora, el compost se utilizaba como abono orgánico para el cultivo de la papa. Actualmente, la producción de este compost está disminuyendo, lo que obliga a los agricultores a buscar otros abonos orgánicos (abono verde, paja). El interés por este tema es cada vez mayor, lo que está provocando una reducción del coste del cultivo de la papa. La aplicación de fertilizantes orgánicos puede mejorar la estructura del suelo, reducir la susceptibilidad a la erosión, mejorar el equilibrio composicional y aumentar la actividad biológica del suelo y la calidad de los tubérculos de papa (Boliłowa & Gleń, 2003).

La tecnología de labranza cero consume menos energía y, en condiciones favorables, produce rendimientos vegetales comparables a los métodos de labranza convencionales. Por otra parte, el laboreo cero puede dar lugar a una mineralización excesiva de la materia orgánica, lo que aumenta el riesgo de erosión del suelo, y consume mucha energía y tiempo. En los últimos años ha aumentado el interés por la agricultura pro-ecológica. Los efectos de los fertilizantes orgánicos, especialmente de la labranza

simple, en el rendimiento, la calidad y la vida útil de los tubérculos de papa. El laboreo simple consiste en mezclar la materia orgánica con el suelo en capas poco profundas. Por lo tanto, este método de laboreo puede afectar a diferentes dinámicas de mineralización de la planta y de absorción de nutrientes, así como a las características de calidad de los tubérculos de papa (Boliłowa & Gleń, 2003).

2.7. Ventajas y desventajas de la fertilización orgánica e inorgánica

En cuanto a la función de los nutrientes estos varían entre sí, La papa requiere un clima fresco y cantidades adecuadas de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el suelo para producir altos rendimientos. La producción en Camerún se ve limitada por las malas prácticas agrícolas, el elevado coste de las semillas, las enfermedades, las plagas y la mala gestión de la fertilidad del suelo. La gestión de la fertilidad del suelo mediante el uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos y la variación de la cantidad de fertilizantes orgánicos e inorgánicos aplicados afectan al rendimiento de la papa. Los abonos orgánicos y sus extractos se utilizan para mejorar la fertilidad del suelo y controlar plagas y enfermedades (Suh et al., 2015).

También se ha demostrado que los abonos orgánicos y el compost tienen un efecto directo sobre las enfermedades al estimular a los microorganismos competidores e inducir la resistencia de las plantas a las enfermedades. Sin embargo, también hay datos contradictorios que indican el efecto contrario de estas fuentes. El uso de abonos químicos y compost para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar el rendimiento es un método tradicional conocido desde hace mucho tiempo. Por otro lado, el uso de compost en tierras agrícolas para una agricultura sostenible está ampliamente aceptado y se han registrado efectos positivos de la aplicación de compost en muchos cultivos (Girma et al., 2017).

CONCLUSIONES

El cultivo de papa como en los demás cultivos no existe una dosis única de abono óptima. Debido a que cada agricultor debe calcular su propia tasa de fertilización, en función de las condiciones de producción (clima, suelo y rendimiento esperado), del cultivo (variedad y gestión agronómica) y de sus propias características.

Todos estos factores interactúan para determinar las variables que determinan la tasa de fertilización, es decir, las necesidades de nutrientes del cultivo, las aportaciones de nutrientes al suelo y la eficacia de la fertilización. Por lo tanto, utilizando las variables anteriores, se puede utilizar la siguiente ecuación para determinar la dosis de aplicación correcta.

Cuanto mayor sea el rendimiento, mayor será la absorción (necesidad) total de nutrientes. Las necesidades de N, P y K son de 2,56 kg de N, 0,47 kg de P y 4,0 kg de K por tonelada de papas. Así, si un productor espera producir 60 t/ha, las necesidades de N, P y K son de 153, 28 y 240 kg/ha respectivamente ($2,56 \times 60$, $0,47 \times 60$, $4,0 \times 60$).

BIBLIOGRAFÍA

- Aznar-Sánchez, J. A., Piquer-Rodríguez, M., Velasco-Muñoz, J. F., & Manzano-Agugliaro, F. (2019). Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture. *Land Use Policy*, 87, 104069. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104069>
- Boligłowa, E., & Gleń, K. (2003). Yielding and quality of potato tubers depending on the kind of organic fertilization and tillage method. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 6(1), 1–8.
- Caro Castro, J., Mateo Tuesta, C., Cisneros Mosco, J., Galindo Cabello, N., & León Quispe, J. (2019). Aislamiento y selección de actinomicetos rizosféricos con actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. andigena). *Ecología Aplicada*, 18(2), 101. <https://doi.org/10.21704/rea.v18i2.1329>
- Daros, M., Amaral Júnior, A. T., Pereira, T. N. S., Leal, N. R., Freitas, S. P., & Sedyama, T. (2002). Caracterização morfológica de acessos de batata-doce. *Horticultura Brasileira*, 20(1), 43–47. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000100008>
- FAOSTAT. (2023a). *Base de datos de la producción en el cultivo de la papa (Solanum tuberosum)*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (FAO).
- FAOSTAT. (2023b). *Statics plataform of the Food and Agriculture Organization*. FAO. <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Ferreira, L. C., Scavroni, J., da Silva, J. R. V., Cataneo, A. C., Martins, D., & Boaro, C. S. F. (2014). Copper oxychloride fungicide and its effect on growth and oxidative stress of potato plants. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 112, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.04.010>
- Girma, T., Beyene, S., & Biazin, B. (2017). Effect of Organic and Inorganic Fertilizer Application on Soil Phosphorous Balance and Phosphorous Uptake and Use Efficiency of Potato in Arbegona District, Southern Ethiopia. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 08(03). <https://doi.org/10.4172/2471-2728.1000185>
- Hu, C. (2020). Molybdenum as an Essential Element for Crops: An Overview.

Biomedical Journal of Scientific & Technical Research, 24(5).

<https://doi.org/10.26717/BJSTR.2020.24.004104>

Kahsay, W. S. (2019). Effects of nitrogen and phosphorus on potatoes production in Ethiopia: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1572985.

<https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1572985>

Koch, M., Busse, M., Naumann, M., Jákli, B., Smit, I., Cakmak, I., Hermans, C., & Pawelzik, E. (2019). Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and partitioning of photoassimilates in potato plants. *Physiologia Plantarum*, 166(4), 921–935. <https://doi.org/10.1111/ppl.12846>

Koch, M., Naumann, M., Pawelzik, E., Gransee, A., & Thiel, H. (2020). The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. *Potato Research*, 63(1), 97–119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>

Kolodziejczyk, M. (2014). Effectiveness of nitrogen fertilization and application of microbial preparations in potato cultivation. *TURKISH JOURNAL OF AGRICULTURE AND FORESTRY*, 38, 299–310. <https://doi.org/10.3906/tar-1305-105>

KOŁODZIEJCZYK, M. (2014). Effectiveness of nitrogen fertilization and application of microbial preparations in potato cultivation. *TURKISH JOURNAL OF AGRICULTURE AND FORESTRY*, 38, 299–310. <https://doi.org/10.3906/tar-1305-105>

Li, H., Yang, X., Kang, Y., Li, W., Li, H., & Qin, S. (2022). Effects of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Combined Fertilisation on the Dry Matter Accumulation, Distribution and Yield of Potato Under Ridge and Furrow Film Mulch Cropping. *Potato Research*. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09596-3>

Lopes, J. I., Gonçalves, A., Brito, C., Martins, S., Pinto, L., Moutinho-Pereira, J., Raimundo, S., Arrobas, M., Rodrigues, M. Â., & Correia, C. M. (2021). Inorganic Fertilization at High N Rate Increased Olive Yield of a Rainfed Orchard but Reduced Soil Organic Matter in Comparison to Three Organic Amendments. *Agronomy*, 11(11), 2172. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112172>

Mikkelsen, R. L. (2011). The “4R” Nutrient Stewardship Framework for Horticulture.

- HortTechnology*, 21(6), 658–662. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.6.658>
- Morales Garzón, F. J. (2016). Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Sudamérica. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 14(1), 1–9. <https://doi.org/10.37066/ralap.v14i1.139>
- Neumann, A., Torstensson, G., & Aronsson, H. (2012). Nitrogen and phosphorus leaching losses from potatoes with different harvest times and following crops. *Field Crops Research*, 133, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.011>
- Pérez, L. C., Rodríguez, L. E., & Gómez, M. I. (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.
- Ravensbergen, A. P. P., van Ittersum, M. K., Kempenaar, C., & Reidsma, P. (2023). Current Phosphorus and Potassium Fertiliser Application Rates Do Not Limit Tuber Yield and Quality in Potato Production Systems in the Netherlands. *Potato Research*. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09613-5>
- Reddy, B. J., Mandal, R., Chakroborty, M., Hijam, L., & Dutta, P. (2018). A Review on Potato (*Solanum Tuberosum* L.) and its Genetic Diversity. *International Journal of Genetics*, 10(2), 360. <https://doi.org/10.9735/0975-2862.10.2.360-364>
- Roberts, S., & Mc Dole, R. E. (2015). *Potassium Nutrition of Potatoes* (pp. 799–818). <https://doi.org/10.2134/1985.potassium.c34>
- Rodríguez, L. E. (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 305–312.
- Rodríguez, L. E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9–17.
- Sharma, D. K., Kushwah, S. S., Nema, P. K., & Rathore, S. S. (2011). Effect of Sulphur on Yield and Quality of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Agricultural Research*, 6(2), 143–148. <https://doi.org/10.3923/ijar.2011.143.148>
- Shoushtarian, F., & Negahban-Azar, M. (2020). Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review. *Water*, 12(4), 971.

<https://doi.org/10.3390/w12040971>

Singaña, D. (2021). Los límites de la productividad del cultivo de papa en Ecuador entre 2017 y 2018. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 25(1), 39–51.

<https://doi.org/10.37066/ralap.v25i1.416>

Singh, H., Singh, S., Kumar, D., & Singh, S. K. (2018). Impact of foliar application of zinc on potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Kufri Pukhraj. *Plant Archives*, 18(2), 1334–1336.

Suh, C., Meka, S. S., Ngome, A. F., Neba, D. A., Kemngwa, I. T., Sonkouat, A. D., & Njualem, D. (2015). Effects of organic and inorganic fertilizers on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the western highlands of Cameroon. *International Journal of Development Research*, 5(2), 3584–3588.

Tariq, M., Ahmad, B., Adnan, M., Mian, I. A., Khan, S., Fahad, S., Saleem, M. H., Ali, M., Mussarat, M., Ahmad, M., Romman, M., Chattha, M. S., El-Sheikh, M. A., & Ali, S. (2022). Improving boron use efficiency via different application techniques for optimum production of good quality potato (*Solanum tuberosum* L.) in alkaline soil. *PLOS ONE*, 17(1), e0259403. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259403>

White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, 182(1), 49–84.

<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>

White, P. J., Wheatley, R. E., Hammond, J. P., & Zhang, K. (2007). Minerals, Soils and Roots. In *Potato Biology and Biotechnology* (pp. 739–752). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-044451018-1/50076-2>

Wichrowska, D., & Szczepanek, M. (2020). Possibility of Limiting Mineral Fertilization in Potato Cultivation by Using Bio-fertilizer and Its Influence on Protein Content in Potato Tubers. *Agriculture*, 10(10), 442.

<https://doi.org/10.3390/agriculture10100442>