

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TUBÉRCULOS DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) FERTILIZADOS CON CALCIO EN EL
ALTIPLANO DE PUNO”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

PIERO ANDRE ROUILLON REBOLLEDO

LIMA – PERÚ

2023

Document Information

Analyzed document	Tesis Piero Rouillon.docx (D143086316)
Submitted	2022-08-19 18:44:00
Submitted by	ROLANDO PERCY EGUSQUIZA BAYONA
Submitter email	pegusquiza@lamolina.edu.pe
Similarity	6%
Analysis address	pegusquiza.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	PROYECTO ROGERES PALACIOS FINAL (Urkund).pdf Document PROYECTO ROGERES PALACIOS FINAL (Urkund).pdf (D142519017)	 1
SA	TESIS PARA IMPRIMIR (vf).docx Document TESIS PARA IMPRIMIR (vf).docx (D46425623)	 1
SA	TESIS Juan Carlos Bolivar.docx Document TESIS Juan Carlos Bolivar.docx (D63534366)	 1
SA	FEDU 2018-2019.pdf Document FEDU 2018-2019.pdf (D77093296)	 6
SA	PARA IMPRIMIR.pdf Document PARA IMPRIMIR.pdf (D48054229)	 3
SA	W 2 Tesis Gaibor Fátima FG ed 2.docx Document W 2 Tesis Gaibor Fátima FG ed 2.docx (D16253095)	 1
W	URL: http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v10n2/a13v10n2.pdf Fetched: 2021-07-26 06:21:28	 2
W	URL: https://www.iamm.ciheam.org/ress_doc/opac_css/doc_num.php?explnum_id=13986 Fetched: 2020-04-28 21:02:36	 1
SA	Informe 2_Albert Sole y Mauel Tobias.pdf Document Informe 2_Albert Sole y Mauel Tobias.pdf (D125438437)	 1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE AGRONOMÍA
 "RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TUBÉRCULOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) FERTILIZADOS CON CALCIO EN EL ALTIPLANO DE PUNO"
 TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO
 PIERO ANDRE ROUILLON REBOLLEDO LIMA – PERÚ 2022
 La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)
 ÍNDICE GENERAL ÍNDICE GENERAL ii ÍNDICE DE TABLAS iv
 ÍNDICE DE FIGURAS vi
 ÍNDICE DE ANEXOS vii
 I. INTRODUCCIÓN 1
 II. REVISIÓN DE LITERATURA 2

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

“RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TUBÉRCULOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)
FERTILIZADOS CON CALCIO EN EL ALTIPLANO DE PUNO”

Piero Andre Rouillon Rebolledo

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa
PRESIDENTE

Ing.Mg.Sc. Rolando P. Egúsquiza B.
ASESOR

Ing.Mg.Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO

Dr. Juan Waldir Mendoza Cortez
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2023

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1	GENERALIDADES DE LA PAPA.....	2
2.1.1	Producción mundial.....	2
2.1.2	Producción nacional	4
2.1.3	Contenido nutricional de la papa.....	6
2.2	EL CALCIO EN LA PLANTA.....	7
2.2.1	Absorción de calcio por la planta:	7
2.2.2	Función biológica del calcio:	8
2.3	CALCIO EN LA PAPA	9
2.3.1	Absorción de calcio por el cultivo de papa:	9
2.4	ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL USO DE CALCIO EN EL CULTIVO DE PAPA.....	10
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1	UBICACIÓN DEL CAMPO EXPERIMENTAL	13
3.2	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	14
3.3	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	15
3.4	MATERIAL VEGETAL.....	15
3.5	MATERIALES Y EQUIPOS	16
3.6	TRATAMIENTOS	16
3.7	CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO.....	17
3.8	MANEJO AGRONÓMICO DEL EXPERIMENTO	17
3.9	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19
3.10	VARIABLES EVALUADAS EN EL EXPERIMENTO.....	20
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1	ALTURA DE PLANTA.....	23
4.2	MATERIA SECA DE HOJAS.....	24
4.3	MATERIA SECA DE TALLOS.....	25
4.4	RELACIÓN PESO HOJAS/TALLO	26
4.5	NÚMERO DE TUBÉRCULOS POR PLANTA.....	27
4.6	RENDIMIENTO TOTAL, COMERCIAL Y NO COMERCIAL	29

4.7	CALIBRES EN LOS TUBÉRCULOS COMERCIALES Y NO COMERCIALES.....	32
4.8	MATERIA SECA DE TUBÉRCULOS	35
4.9	CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN TUBÉRCULOS	37
4.10	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	40
V.	CONCLUSIONES	42
VI.	RECOMENDACIONES	43
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	44
VIII.	ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción, superficie cosechada y rendimiento mundial de papa en el periodo 2011 – 2020.....	3
Tabla 2: Producción, superficie cosechada y rendimiento nacional de papa en el periodo 2012 – 2021.....	4
Tabla 3: Producción, superficie cosechada y rendimiento de papa según departamento durante la campaña agrícola 2020 – 2021	5
Tabla 4: Composición nutricional de la papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>).....	6
Tabla 5: Ubicación política de la EEA Illpa.....	13
Tabla 6: Ubicación geográfica de la EEA Illpa.....	13
Tabla 7: Análisis de caracterización de suelo del campo experimental.....	14
Tabla 8: Condiciones meteorológicas de temperatura y precipitación en el período noviembre (2018) - Abril (2019), Illpa (Puno).....	15
Tabla 9: Listado de tratamientos y aporte nutricional de Yaraliva NITRABOR.....	16
Tabla 10: Insecticidas y fungicidas empleados en el experimento	19
Tabla 11: ANOVA del diseño experimental para siete tratamientos y cuatro repeticiones.....	20
Tabla 12: Altura de planta (cm) empleando diferentes niveles de fertilización cálcica en la variedad de papa Yana imilla en Puno.....	23
Tabla 13: Materia seca (%) de hojas en plantas de Yana imilla con diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno.....	25
Tabla 14: Materia seca (%) de tallos en plantas de Yana imilla con diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno.....	25
Tabla 15: Relación peso hojas/tallo en plantas de Yana imilla con diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno.....	27
Tabla 16: Número de tubérculos por planta y significación estadística de promedios por efecto de diferentes niveles de fertilización cálcica en la variedad Yana imilla	28
Tabla 17: Rendimiento total, comercial y no comercial (t.ha-1) de la variedad de papa Yana imilla por efecto de diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno	30
Tabla 18: Porcentajes de rendimiento comercial y no comercial de la variedad de papa Yana imilla bajo diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno	32

Tabla 19: Rendimientos y proporciones de los calibres de tubérculos comerciales por efecto de los diferentes niveles de fertilización cálcica en la variedad Yana imilla en Puno.....	33
Tabla 20: Rendimientos y proporciones de las categorías de tubérculos no comerciales (Chuño y Descarte) por efecto de los diferentes niveles de fertilización cálcica en Yana imilla en Puno.....	35
Tabla 21: Materia seca (%) de tubérculos por efecto de diferentes niveles de fertilización cálcica en la variedad de papa Yana imilla en Puno	36
Tabla 22: Concentración de nutrientes (ppm) en tubérculos de la variedad de papa Yana imilla empleando diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno.....	38
Tabla 23: Costos de producción de papa de la variedad Yana imilla (S/ha ⁻¹) empleando diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países productores de papa en el año 2020 (FAO, 2021).....	3
Figura 2. Función estructural del calcio en la membrana celular (Maathius, 2009)	8
Figura 3. Tipos de raíces de papa	9
Figura 4. Ubicación del campo experimental dentro del EEA Illpa.....	13
Figura 5. Concentración de N, Ca, Zn, Fe y B en tubérculos de Yana imilla producidos bajo diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno	38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de caracterización del suelo experimental en la Estación Experimental Illpa del INIA Puno.....	51
Anexo 2: Datos meteorológicos de la estación experimental Illpa (Puno).....	52
Anexo 3: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's de la altura de plantas en tres fechas del periodo vegetativo	53
Anexo 4: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Peso seco de hojas (CM ₁), Peso seco de tallos (CM ₂) y Relación de Pesos Hoja/tallo (CM ₃)	53
Anexo 5: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Número Total (CM ₁), Comercial (CM ₂) y No comercial (CM ₃) de tubérculos por planta	53
Anexo 6: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Rendimiento Total (CM ₁), Comercial (CM ₂) y No comercial (CM ₃) de tubérculos por planta	53
Anexo 7: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Rendimiento de tubérculos de calibres Primera (CM ₁), Segunda (CM ₂) y Tercera (CM ₃)	54
Anexo 8: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Rendimiento de tubérculos para chuño (CM ₁) y de descarte (CM ₂).....	54
Anexo 9: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del porcentaje de materia seca de tubérculos de Imilla negra.....	54
Anexo 10: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del contenido de Nitrógeno (CM ₁), Calcio (CM ₂), Zinc (CM ₃), Hierro (CM ₄) y Boro (CM ₅) en tubérculos	54
Anexo 11: Costo de producción (ha) de papa Yana imilla en Illpa (Puno)	55
Anexo 12: Costo de producción (ha) de cada tratamiento	56
Anexo 13: Precio en chacra de papa Yana imilla en Illpa (Puno)	56

RESUMEN

El estudio de fertilización cálcica tuvo lugar en la estación experimental INIA ILLPA (Puno – Perú)(15° 41' 15'' Sur, 70° 04' 33'' Oeste a una altura de 3825 m.s.n.m) tuvo como objetivo principal conocer el nivel óptimo de fertilizante con una formulación comercial de calcio en el cultivo de papa “Yana imilla” en condiciones del altiplano de Puno entre los meses de noviembre del 2018 hasta abril del 2019. Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los datos fueron sometidos a los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Shapiro Wilk y Levene, respectivamente), además se determinó el análisis de varianza y comparación de medias de Duncan con un nivel de significancia del 95 % ($\alpha \leq 0.05$), con el paquete estadístico “*Agricolae*” del software libre “R”. Se encontraron diferencias estadísticas en la altura de planta, materia seca foliar, del tallo y tubérculos, así como en la concentración de nitrógeno foliar. Si bien no se encontró diferencia estadística en el número de tubérculos por planta o en el rendimiento total y comercial, si logra incrementar estos parámetros en diferentes grados, encontrándose que en un rango de 300 (T3) a 400 (T4) kg.ha⁻¹ de calcio adicionado al suelo, se obtiene un ligero incremento del rendimiento y mejores respuestas de otros parámetros.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, Yana imilla, calcio, rendimiento, calidad.

ABSTRACT

The calcium fertilization study took place at the INIA ILLPA experimental station (Puno - Peru) (15°41' 15" South, 70° 04' 33" West at a height of 3825 m.s.n.m) had as main objective to know the level optimum fertilizer with a commercial formulation of calcium in the potato crop "Yana imilla" under conditions of the highlands of Puno between the months of November 2018 to April 2019. A Completely Random Block Design was used with seven treatments and four repetitions. The data were submitted to the assumptions of normality and homoscedasticity (Shapiro Wilk and Levene, respectively), in addition, Duncan's analysis of variance and comparison of means were determined with a significance level of 95% ($\alpha \leq 0.05$), with the package statistical "Agricolae" of the free software "R". Statistical differences were found in plant height, leaf dry matter, stem dry matter and tubers dry matter, as well as in leaf nitrogen concentration. Although no statistical difference was found in the number of tubers per plant or in the total and commercial yield, it does manage to increase these parameters in different degrees, finding that in a range of 300 (T3) to 400 (T4) kg.ha⁻¹ of calcium added to the soil, a slight increase in yield and better responses of other parameters are obtained.

Key words: *Solanum tuberosum*, Yana imilla, calcium, yield, quality.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la papa tiene gran importancia económica y social, porque es el cuarto alimento más consumido en el mundo, después del maíz, trigo y arroz (FAO, 2014). La papa es originaria de los andes donde se ha cultivado desde hace más de 8 000 aC por diversas culturas prehispánicas y donde, además, en la actualidad existen aproximadamente 4 500 variedades entre nativas y modernas (MINAG, 2007).

Según el MIDAGRI (2016), en el Perú, el cultivo de papa es el sustento de 711 313 familias, especialmente de las zonas andinas, siendo la superficie cultivada de 318 530 hectáreas, con una producción de 4.5 millones de toneladas y rendimiento promedio de 14.5 t.ha⁻¹ considerado bajo si es comparado con el rendimiento promedio de otros países productores de ese cultivo como Francia, Alemania, Estados Unidos y Países Bajos (entre 45 y 47 t.ha⁻¹) (FAO, 2014).

Una de las razones que puede explicar el menor rendimiento del cultivo de papa en el Perú, está relacionado con el inadecuado manejo nutricional del cultivo. En ese sentido, dentro de los nutrientes requeridos por la papa, el calcio merece especial atención ya que es conocida su función estructural relacionada con la integridad de la membrana y propiedades mecánicas de la pared celular (Mengel y Kirkby, 1987; Pilbeam y Morley, 2006; Maathuis, 2009; Palta, 2010) y su efecto en el proceso de tuberización (Balamani et al., 1986; Nookaraju et al., 2012).

Por lo expuesto, es de importancia contribuir con evidencias técnicas que permitan determinar los efectos de la cantidad de calcio sobre el rendimiento y calidad de tubérculos en condiciones de suelos de regiones productoras de papa en el Perú por lo que en el presente experimento se plantea el objetivo general de determinar el nivel óptimo de fertilización con una formulación comercial de calcio en el cultivo de papa en condiciones del altiplano de Puno.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES DE LA PAPA

La papa es una Solanacea de la Sección *Petota* y género *Solanum*. Dentro de ellas, se encuentran especies silvestres y cultivadas, las primeras son propias de América, existiendo poco más de 180 especies, las cultivadas son de uso alimenticio y se clasifican entre nativas o modernas (Egusquiza, 2014). La clasificación taxonómica de la papa de acuerdo con el sistema de la Angiosperm Phylogeny Group (APG, 2016), es como sigue:

Reino: Plantae

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum tuberosum* L.

2.1.1 Producción mundial

Según la división estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021), la producción de papa en todo el mundo durante el año 2020 fue de 359.07 millones de toneladas producidas en 16.49 millones de hectáreas (21.78 t.ha⁻¹), la producción desde el año 2011 se redujo en 9.57 millones de toneladas, de igual modo la superficie cosechada de este cultivo se redujo en el periodo 2011 – 2020 pasando de 18.68 a 16.49 millones de hectáreas cosechadas en el mundo, sin embargo, el rendimiento mundial de papa se incrementó de 19.74 a 21.77 t.ha⁻¹ entre los años 2011 y 2020 (Tabla 1).

Tabla 1: Producción, superficie cosechada y rendimiento mundial de papa en el periodo 2011 – 2020

Año	Producción (millones de t)	Superficie cosechada (millones de ha)	Rendimiento (t.ha⁻¹)
2011	368.65	18.68	19.74
2012	362.05	18.70	19.36
2013	366.21	18.51	19.79
2014	370.01	18.05	20.50
2015	366.06	18.06	20.27
2016	353.99	17.39	20.35
2017	370.11	17.44	21.23
2018	365.67	17.19	21.27
2019	354.81	16.48	21.54
2020	359.07	16.49	21.77

Fuente: FAO (2021)

Entre los principales países productores de papa destaca China como el primer productor en el año 2020 con 78.18 millones de toneladas producidas (21.77 % de la producción mundial), India y Ucrania son el segundo y tercer productor, respectivamente. Ningún país latinoamericano destaca en esta lista (Figura 1). Los primeros 10 países que lideran la producción de papa en el mundo representan el 65.06 % de la producción mundial (FAO, 2021).

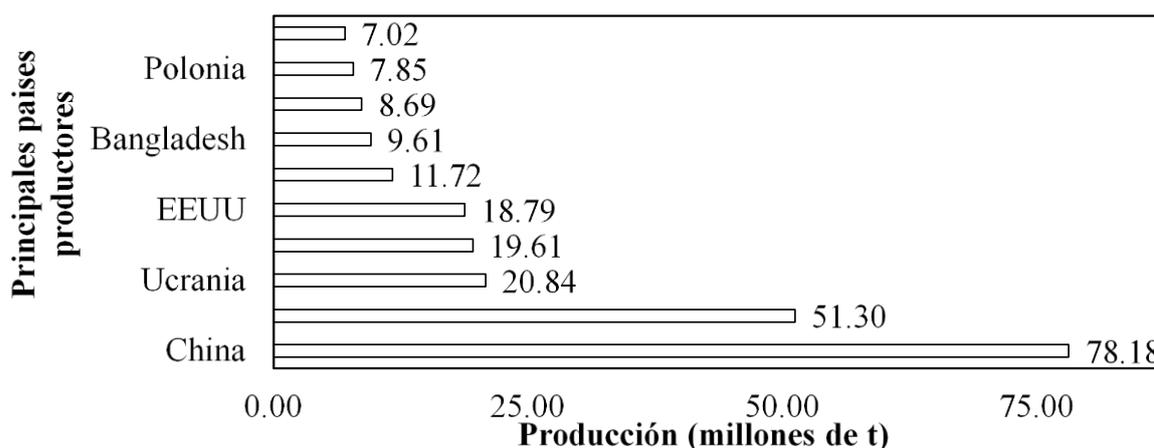


Figura 1. Principales países productores de papa en el año 2020 (FAO, 2021)

2.1.2 Producción nacional

La papa, actualmente en el Perú, es el principal cultivo en superficie cosechada y representa el 25 % del PBI agropecuario (MIDAGRI, 2015). La producción nacional de papa durante el año 2021 fue de 5655.92 miles de toneladas producidas en una superficie total de 330.79 miles de hectáreas y un rendimiento promedio nacional de 17.10 t.ha⁻¹. La producción de papa en el año 2021 incremento un 26.40 % respecto a lo producido en el año 2012, así mismo el rendimiento se incrementó un 19.36 % en el mismo periodo (Tabla 2) (MIDAGRI, 2019; MIDAGRI, 2022).

Tabla 2: Producción, superficie cosechada y rendimiento nacional de papa en el periodo 2012 – 2021

Año	Producción (miles de t)	Superficie cosechada (miles de ha)	Rendimiento (t.ha⁻¹)
2012	4474.71	312.37	14.33
2013	4569.63	317.04	14.41
2014	4704.99	318.38	14.78
2015	4715.93	316.54	14.90
2016	4514.24	310.70	14.53
2017	4776.29	310.40	15.39
2018	5121.11	323.09	15.85
2019	5331.06	329.98	16.16
2020	5515.38	333.15	16.56
2021	5655.92	330.79	17.10

Fuente: MIDAGRI (2019); MIDAGRI (2022)

En la campaña agrícola de papa 2020 – 2021, los principales departamentos productores de papa fueron Puno, Huánuco, La Libertad, Cusco y Junín; estos cinco departamentos produjeron en conjunto el 56.54 % de la producción nacional de papa de ese periodo agrícola. Los departamentos de Loreto, Madre de Dios, San Martín, Tumbes y Ucayali no registran producción de papa debido al clima que predomina en estos departamentos (Tabla 3) (MIDAGRI, 2022).

Tabla 3: Producción, superficie cosechada y rendimiento de papa según departamento durante la campaña agrícola 2020 – 2021

Departamento	Producción (t)	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (t.ha⁻¹)
Puno	957130	62106	15.4
Huánuco	790705	45741	17.3
La Libertad	595478	26135	22.8
Cusco	433490	29996	14.5
Junín	421131	24290	17.3
Cajamarca	411309	30265	13.6
Apurímac	390127	21855	17.9
Ayacucho	351975	24522	14.4
Arequipa	300495	8464	35.5
Huancavelica	282301	20481	13.8
Lima	188303	6391	29.5
Pasco	183251	9953	18.4
Ica	119440	3481	34.3
Ancash	114388	9228	12.4
Amazonas	65876	3677	17.9
Piura	28774	2522	11.4
Tacna	9930	466	21.3
Moquegua	7191	590	12.2
Lambayeque	3359	585	5.7

Fuente: MIDAGRI (2022)

2.1.3 Contenido nutricional de la papa

Como indica el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2018), cien gramos de papa cruda con cascara, poseen 75.10 gramos de agua, 77.00 kcal de energía, 2.00 g de proteína, 0.10 g de grasa, 19.00 g de carbohidratos. Posee 20.00, 0.08, 0.03, 1.10 y 0.25 mg de vitamina C, B₁ (Tiamina), B₂ (Riboflamina), B₃ (Niacina) y B₆, respectivamente. Entre los minerales presentes en la papa se encuentran el calcio, magnesio, fósforo y potasio (12.00, 23.00, 57.00 y 421.00 mg, respectivamente) (Tabla 4).

Tabla 4: Composición nutricional de la papa (*Solanum tuberosum L.*)

		Nutriente / 100 g	
Análisis Proximal	Agua	g	75.10
	Energía	kcal	77.00
	Proteína	g	2.00
	Grasas	g	0.10
	Carbohidratos	g	19.00
Minerales	Calcio	mg	12.00
	Hierro	mg	1.80
	Magnesio	mg	23.00
	Zinc	mg	30.00
	Fosforo	mg	57.00
	Potasio	mg	421.00
	Sodio	mg	6.00
Vitaminas	Vitamina C	mg	20.00
	Tiamina	mg	0.08
	Riboflavina	mg	0.03
	Niacina	mg	1.1
	Vitamina B-6	mg	0.25

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA) (2018)

Xu et al. (2013), sostienen que los almidones de las papas se caracterizan por un bajo contenido de proteína, grasa y cenizas, además presentan un alto contenido de carbohidratos. Así mismo, Pérez pacheco (2014), indican que la composición nutricional de las papas, dependen de las variedades, el manejo, la zona de producción, etc. Peña (2017), indica que el contenido aproximado de proteínas en papas de la variedad nativa Yana imilla es 0.58 ± 0.11 (%), además a nivel de almidón, no presenta grasas, las cenizas presentes son 0.29 ± 0.05 (%).

2.2 EL CALCIO EN LA PLANTA

2.2.1 Absorción de calcio por la planta:

El calcio es muy abundante en la litosfera, pero la meteorización severa y la lixiviación pueden provocar su deficiencia en el suelo y acelerar si el pH del suelo se acidifica. Los iones de calcio pueden juntarse con otros iones, formando compuestos casi insolubles, por ejemplo, con el fósforo, haciendo que el fósforo esté menos disponible (Maathius, 2009).

Dentro de la planta el calcio es relativamente inmóvil, el ion tiende a ser secuestrado en las vacuolas celulares; por otro lado, dentro del sistema vascular de la planta (xilema) la movilidad es baja. Por lo tanto, los niveles de calcio pueden caer por debajo de un nivel crítico en tejidos de rápido crecimiento que causan enfermedades o daños como “corazón negro” en algunas hortalizas (Maathius, 2009). El calcio se absorbe en forma de ion Ca^{2+} (Salisbury y Ross, 1994). El calcio presenta una alta densidad de carga en su superficie, lo que le permite unirse a las moléculas de agua, es decir, como ion hidratado se absorbe con más lentitud que un catión monovalente (Salisbury y Ross, 1994; White y Davenport, 2002). Díaz et al (2007), indican que la entrada de Ca^{2+} a la célula es exclusivamente por medio de canales en la membrana.

White (2001), indica que el movimiento del calcio en la raíz se da primero por vía apoplasto hasta llegar a las células endodermales y cuando los iones de calcio no pueden superar la barrera física de la endodermis por dicha vía, entran a las células por medio de canales que les permiten continuar hasta el xilema, sin embargo, la movilidad a través del simplasto sigue siendo restringida por las concentraciones bajas de calcio. Thuleau et al. (1998), indican que las bajas concentraciones de un ion, inhibe los movimientos por corrientes citoplasmáticas por diferencia de concentración.

La mayor entrada de calcio en la planta se realiza en los ápices radiculares. Cuando el calcio ya ha sido absorbido por las raíces, es transportado hacia las hojas mediante la tensión que genera la transpiración a través de los vasos xilemáticos (Salisbury y Ross, 1994; White, 2001). Cardona (2005), indica que el proceso para un mejor movimiento del calcio en el xilema es mediante el intercambio con grupos moleculares cargados negativamente como las pectinas y ligninas.

2.2.2 Función biológica del calcio:

Las funciones celulares del calcio son estructurales y también se desempeña como mensajero secundario. El calcio forma fácilmente complejos con compuestos orgánicos como fosfatos, carboxilos de fosfolípidos, proteínas y azúcares. Esto sucede en las paredes celulares de las plantas donde las microfibrillas de celulosa están reticuladas por glucanos y pectinas. Por otro lado, el calcio, juega un papel análogo en las membranas celulares donde el calcio coordina con los fosfolípidos, esto ocurre en la cara externa de la membrana (Figura 2), en donde la eliminación del calcio de la membrana a causa del reemplazo por otros cationes puede ocasionar efectos negativos, comprometiendo rápidamente la integridad de la membrana. Como el calcio forma fácilmente sales insolubles con sulfatos y fosfatos, la concentración de calcio libre en los citoplasmas se mantiene relativamente bajo (alrededor de 100 nM), esta capacidad le confiere la característica de un mensajero secundario en una amplia gama de estímulos tales como las condiciones de estrés biótico, abiótico, regulación estomática y daños físicos (Maathius, 2009).

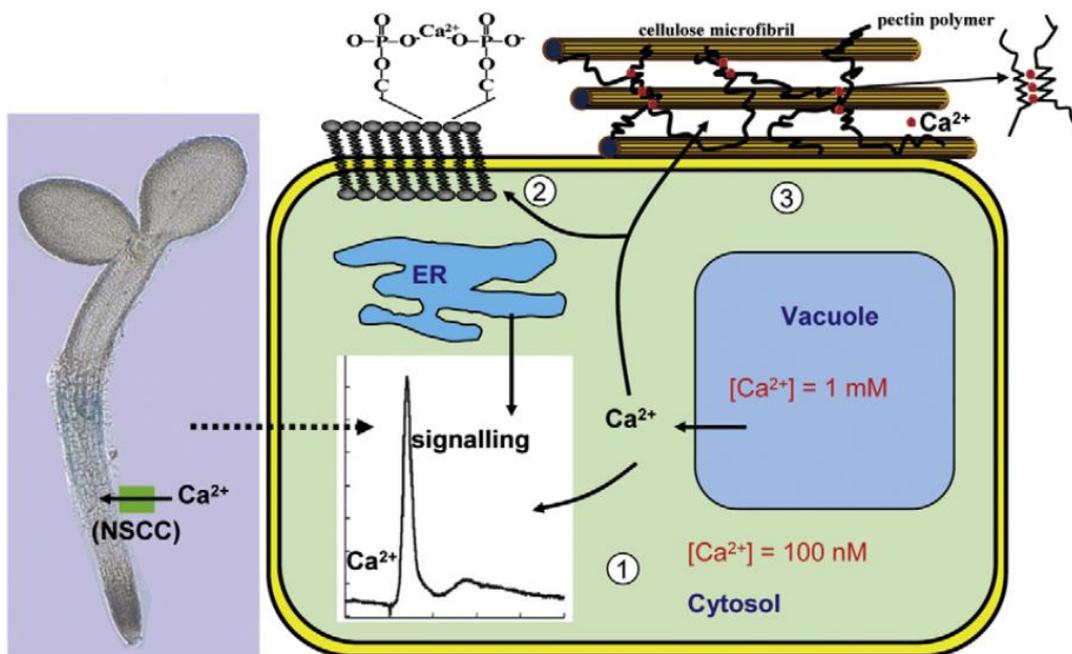


Figura 2. Función estructural del calcio en la membrana celular (Maathius, 2009)

Barona et al. (2014), indican que el calcio participa como componente estructural de paredes y membranas celulares, contribuyendo a la rigidez de la planta. Indican que la deficiencia de calcio interfiere en el desarrollo de las raíces, causando deformación en los brotes y podría llegar a reducir la calidad y el rendimiento.

2.3 CALCIO EN LA PAPA

2.3.1 Absorción de calcio por el cultivo de papa:

La baja concentración de calcio en los tubérculos no solo es debida a una baja fertilización con calcio en el cultivo (Locascio et al., 1992). La localización de aplicación del calcio en el cultivo debe tenerse en cuenta porque no solo afecta su contenido sino también afecta la calidad de los tubérculos (Spillman, 2003). El calcio no se transporta a través del floema, por lo tanto, es esencial suministrar más calcio al meristemo de la raíz para una absorción optima (Emanuelsson, 1984).

La planta de papa posee varios tipos de raíces que contribuyen a la absorción de Ca (*Figura 3*), tiene raíces que surgen en la base del tallo principal, es decir, las raíces principales, otro tipo son las que surgen en la base del estolón de los tubérculos, se tiene otro que crece en el mismo estolón y otras raíces que crecen en los tubérculos (Kratze y Palta, 1985).

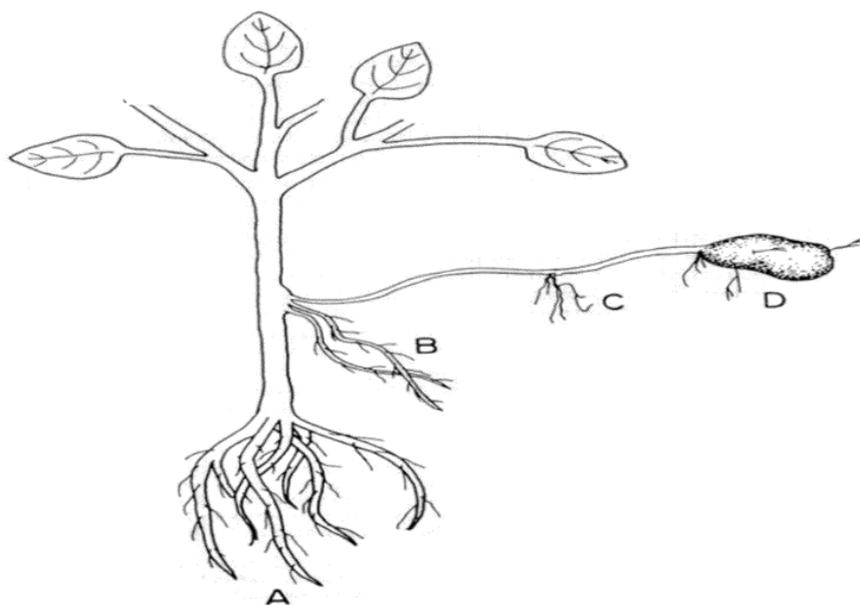


Figura 3. Tipos de raíces de papa

(A) raíces principales; (B) raíces en la base de estolones; (C) raíces en estolones;
(D) Raíces en tubérculos (Kratze y Palta, 1985)

Los tubérculos de papa pueden absorber el calcio principalmente a través de las raíces del tubérculo y del estolón, por su cercanía con el tubérculo (Spillman, 2003). Las raíces principales y las raíces que se forman al inicio del estolón contribuyen en menor medida a la absorción de calcio de los tubérculos (Kratze y Palta, 1985).

Una posible causa del bajo desplazamiento del calcio hacia los tubérculos es debido a la baja tasa de transpiración de los tubérculos de papa, es decir, el tubérculo extrae poca agua a través del xilema porque está rodeado de tierra húmeda comparado con el follaje (los tubérculos dependen principalmente de las raíces de los estolones y tubérculos para la extracción del agua del suelo) (Palta, 1996; Spillman, 2003; Kratze y Palta, 1985; Modisane, 2007a).

2.4 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL USO DE CALCIO EN EL CULTIVO DE PAPA

En un estudio de tres años en un suelo franco arenoso, Clough (1994) evaluó la respuesta de la papa a la dosis y oportunidad de fertilización con calcio. Aplicó antes de sembrar 0, 90, 180 y 270 kg.ha⁻¹ de CaSO₄ y 0, 34 y 68 kg.ha⁻¹ de nitrato de calcio al momento del aporque. El diseño del experimento fue por factores 4 x 3 con tres repeticiones. La fertilización con calcio no afectó el rendimiento de tubérculos ni la concentración de nutrientes (P, K y Ca) en el tubérculo.

En Brasil, Consorte (2001) estudió efectos de dos fuentes y dosis de calcio y nitrógeno en la producción de papas (nitrato de calcio + nitrato de amonio y Nitroplus 9 + urea) y cinco dosis (0, 25, 50, 75 y 100 kg.ha⁻¹ para la primera fuente y 0, 25, 37.5, 50 y 75 kg.ha⁻¹ para la segunda fuente). No encontró diferencias en la producción total y comercial respecto al testigo absoluto, además indicó que la fertilización con calcio influyó en los parámetros nutricionales analizados (N, P, Ca y Mg en hojas y tubérculos).

Özgen y Palta (2004), evaluaron cuatro fuentes de fertilización de las cuales dos poseían calcio (control, nitrato de amonio, cloruro de calcio + nitrato de amonio y nitrato de calcio), en todos sus tratamientos la cantidad de nitrógeno aportado fue de 280 kg.ha⁻¹. Observaron que el contenido de calcio en la piel de los tubérculos se incrementa con las fertilizaciones de calcio, encontrando valores 144 y 245 µg de calcio por gramo de piel. En general sus dos tratamientos con calcio tuvieron una significancia baja respecto al número de tubérculos por planta, sin embargo, estos dos tratamientos produjeron tubérculos con mayor peso, aunque sin diferencia estadística con los tratamientos sin calcio.

Karlsson et al (2006) utilizaron cinco variedades de papa (Russet burkbank, Atlantic, Snowden, Superior y Dark red norland), durante tres periodos (1999 – 2001) y determinaron

que la aplicación de calcio en la fertilización incrementa su concentración en los tubérculos y mejora la calidad de estos reduciendo defectos internos.

Modisane (2007b y 2007c), reportó dos experimentos. En el primero evaluó el efecto de cuatro niveles de yeso (3, 6, 12 y 25 t.ha⁻¹), encontró diferencia significativa en el peso fresco de hojas y peso seco de hojas, sin embargo, no encontró diferencia en el área foliar, peso fresco de estolón, peso fresco de tubérculos, peso seco de estolón y peso seco de tubérculos. En el segundo experimento, empleó cuatro niveles de calcio en sus riegos (44, 176, 352 y 704 mg L⁻¹) en dos condiciones de temperatura (22/14 y 27/17 °C día/noche) controlada con baja humedad en ambos ambientes. Encontró diferencia significativa en el área foliar, peso fresco de hojas y peso seco de hojas. No encontró diferencia en el peso fresco y seco de estolones y tubérculos.

Jadoski et al. (2009), evaluaron tres niveles de CaCO₃ (0.87, 1.87 y 2.87 t.ha⁻¹) y tres niveles de saturación de calcio (50, 60 y 70) en el cultivo de papa en Guarapuava (Brasil) en un campo experimental del Departamento de Agronomía de la Universidad Estatal del Medio Oeste. Encontraron que las mayores concentraciones de calcio mejoraron el rendimiento total y el tamaño de tubérculos; por otro lado, indicaron que las mayores concentraciones de calcio presentaron bajos niveles de severidad de *Helminthosporium solani*.

Banerjee et al. (2014), evaluaron el impacto de la nutrición cálcica sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de papa durante tres inviernos (2010, 2011, 2013) en Hooghly (India). Los tratamientos fueron 0 - 0, 40 - 0, 20 - 20, 80 - 0, 40 - 40, 120 - 0 y 60 - 60 kg.ha⁻¹ de calcio (siembra - aporque). Observaron que el mayor rendimiento se obtuvo con una dosis de calcio de 120 kg en la siembra, recomiendan que para obtener un aumento del rendimiento y en la calidad de los tubérculos se debe adicionar entre 80 y 120 kg al suelo.

Hamdi et al. (2015), estudiaron el efecto del nitrato de calcio en la fertilización del cultivo de papa (0, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 kg.ha⁻¹). Encontraron diferencias en el peso de tubérculos, aumento en el contenido de calcio en las hojas y en los tubérculos y no observaron una influencia negativa en la absorción de otros nutrientes.

Gumede y Kempen (2017a), estudiaron cuatro variedades (Mondial, Sifra, Lamona y Innovator) y cuatro niveles de fertilización cálcica (1.6, 3.2, 6.6 y 9.8 meq L⁻¹ Ca) en

condiciones de invernadero en la universidad Stellenbosch (Sudáfrica). El peso de los tubérculos, peso fresco aéreo y el peso seco aéreo fue afectado por la fertilización cálcica. No observaron diferencia en el rendimiento y número de tubérculos por planta.

Gumede y Kempen (2017b), estudiaron tres niveles de calcio (1.6, 3.2 y 6.6 meq Ca L⁻¹ vía sistema de riego) en tres tipos de suelos (arenoso, franco arenoso y franco) en el cultivo de papa bajo condiciones de bajas temperaturas. Indican que encontraron diferencias a nivel de fertilización de calcio en el peso fresco del follaje, sin embargo, a nivel de peso seco, número de tubérculos por planta y peso de tubérculos no encontraron diferencias estadísticas. Respecto a la concentración de nutrientes en los tubérculos, reportan no haber encontrado diferencia significativa en las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Zn y B.

Gumede y Kempen (2017c), evaluaron el crecimiento, rendimiento y la calidad de papa tras la aplicación de calcio vía drench. Los tratamientos fueron control, 9 meq L⁻¹ de calcio en las semanas 6, 7, 8, 9 y 10 después de la siembra, 4 meq L⁻¹ de calcio en las semanas 6, 7, 8, 9 y 10 después de la siembra y 9 meq L⁻¹ de calcio en las semanas 6, 7 y 8 después de la siembra. No encontraron diferencias estadísticas respecto al porcentaje de la materia seca foliar entre sus tratamientos. No encontraron diferencias en el tamaño de tubérculos ni en la concentración de nutrientes, N, Ca y Mg.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL CAMPO EXPERIMENTAL

El estudio se realizó en un campo experimental de la Estación Experimental Agraria de INIA ILLPA, en el distrito de Illpa (Juliaca – Puno). La ubicación política y geográfica se muestran en las Tablas 5 y 6, respectivamente.

Tabla 5: Ubicación política de la EEA Illpa

Región	Puno
Departamento	Puno
Provincia	Juliaca
Distrito	Illpa

Tabla 6: Ubicación geográfica de la EEA Illpa

Latitud	15° 41' 15'' S
Longitud	70° 04' 33'' W
Altitud	3825 m.s.n.m.

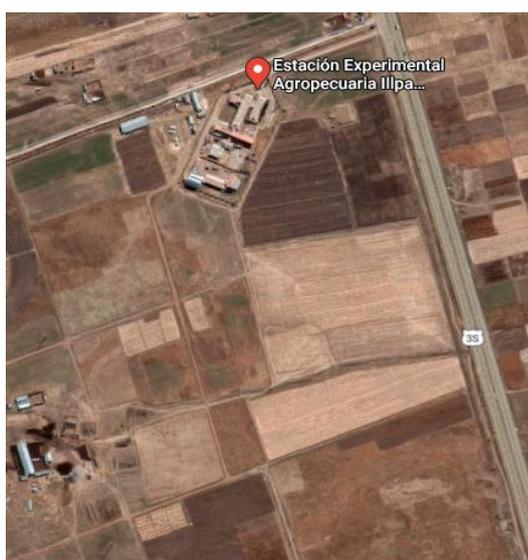


Figura 4. Ubicación del campo experimental dentro del EEA Illpa

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Para la caracterización físico - química del suelo, se realizó un muestreo al azar en todo el terreno experimental, se tomó cinco submuestras, el total de submuestras fueron mezcladas y de esta mezcla se tomó un kilogramo para análisis en el laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados se muestran en la Tabla 7 y Anexo 1.

El suelo presentó una clase textural Franco arcillosa, el pH fue ligeramente alcalino (7.46), con un porcentaje de materia orgánica medio de 2.33 %. El contenido de fósforo disponible fue alto (37.3 ppm). El potasio disponible fue muy alto (1244 ppm). El suelo es no salino (0.58 dS/m) el contenido de carbonato de calcio fue bajo (0.2 %) y la capacidad de intercambio catiónico fue medio (19.36 meq/100 g).

Tabla 7: Análisis de caracterización de suelo del campo experimental

Componente	Unidad	Valor	Método de análisis
pH	-	7.46	Potenciómetro 1:1
C.E	dS/m	0.58	Extracto de saturación 1: 1
CaCO ₃	%	0.20	Gas volumétrico
M.O.	%	2.33	Walkley y Black
P disponible	ppm	37.3	Olsen modificado
K disponible	ppm	1244	Acetato de amonio 1N/pH 7
Clase Textural	-	Fr. Ar.	Triangulo estructural
Arena	%	45	Hidrómetro de Bouyoucos
Limo	%	24	Hidrómetro de Bouyoucos
Arcilla	%	31	Hidrómetro de Bouyoucos
CIC	-	19.36	
Calcio	meq/ 100g	9.38	Espectrofotometría de absorción atómica
Magnesio	meq/ 100g	6.80	Espectrofotometría de absorción atómica
Potasio	meq/ 100g	1.92	Espectrofotometría de absorción atómica
Sodio	meq/ 100g	1.26	Espectrofotometría de absorción atómica

Fuente: LASPAF (2020)

3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

La información meteorológica durante el periodo en el que se desarrolló el experimento, se obtuvo de la Estación Meteorológica Agrícola Illpa (Puno). En la Tabla 8 se presenta el resumen de los datos mensuales. La temperatura mínima varió entre 0.77 y 4.33 °C, la temperatura máxima promedio del experimento se dio en el mes de diciembre (20.53 °C), la temperatura media general durante el periodo del experimento fue 10.50 °C, la precipitación acumulada desde noviembre 2018 hasta abril 2019 fue 390.50 mm (Anexo 2).

Tabla 8: Condiciones meteorológicas de temperatura y precipitación en el período noviembre (2018) - Abril (2019), Illpa (Puno)

Año	Mes	Temperatura (°C)			PP (mm)
		Min.	Max.	Media	
2018	Octubre	2.04	18.77	10.41	40.50
	Noviembre	2.17	20.53	11.35	16.30
	Diciembre	2.27	19.49	10.88	63.50
2019	Enero	4.04	17.27	10.66	80.90
	Febrero	4.33	16.86	10.59	108.70
	Marzo	2.31	17.7	10.01	43.20
	Abril	0.78	18.47	9.63	37.4
Promedio		2.56	18.44	10.50	390.50*

Fuente: Estación Meteorológica Agrícola Illpa
(* Precipitación acumulada)

3.4 MATERIAL VEGETAL

El experimento se realizó en plantas de la variedad nativa Imilla negra (*Solanum tuberosum* sub sp. *andigena*). Según Arcos (2019), Imilla negra presenta plantas vigorosas de tamaño mediano a grande, su tallo es de color verde oscuro y presenta de 1 a 5 tallos por planta; las hojas son verde oscuras de un tamaño mediano a grande, su superficie es semibrillosa. Los tubérculos de Imilla negra son redondos, de color morado oscuro con una piel lisa y pulpa blanca, los “ojos” son profundos y numerosos. El periodo vegetativo puede ser de hasta 145 días, con un rendimiento promedio que varía entre 20 y 30 t.ha⁻¹, generalmente sus tubérculos son de un tamaño mediano a grande. En Puno es sembrado desde la última semana de octubre hasta la última semana de noviembre, se recomienda una distancia de 0.9 – 1.0 m

de distancia entre surco y 0.3 entre plantas. Es una variedad adaptada a las condiciones del altiplano de Puno por ser tolerante a heladas y sequias, puede crecer entre 2500 y 4000 msnm con precipitaciones pluviales de 650 a 900 mm año⁻¹.

3.5 MATERIALES Y EQUIPOS

- Papa var. Imilla negra
- YaraLiva NITRABOR
- Cuaderno de apuntes
- Lápiz
- Cámara fotográfica
- Cinta métrica
- Vernier
- Estufa
- Fertilizantes
- Pesticidas
- Balanza electrónica
- Jabas para cosecha
- Mochilas de palanca
- Bolsas de papel
- Baldes de 20 L

3.6 TRATAMIENTOS

Los tratamientos del experimento consistieron en siete niveles de fertilización de calcio empleando YaraLiva NITRABOR. La fertilización N - P - K del experimento fue de 213 - 100 - 80 kg.ha⁻¹, la fertilización inicial fue 120 - 100 - 80 kg.ha⁻¹, como el producto empleado contenía nitrógeno, se empleó nitrato de amonio para complementar la fórmula de nitrógeno.

Tabla 9: Listado de tratamientos y aporte nutricional de YaraLiva NITRABOR

Tratamiento	Nitrato de amonio (kg.ha ⁻¹)	YaraLiva NITRABOR (kg.ha ⁻¹)	Aporte de YaraLiva NITRABOR (kg.ha ⁻¹)	
			N	CaO
T0	93.0	0.0	0.0	0.0
T1	77.5	100.0	15.5	26.0
T2	62.0	200.0	31.3	52.0
T3	46.2	300.0	46.2	78.0
T4	31.3	400.0	62.0	104.0
T5	15.5	500.0	77.5	130.0
T6	0.0	600.0	93.0	156.0

3.7 CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO

El área total del experimento fue de 672 m², y se comprendía de siete tratamientos y cuatro repeticiones, dando un total de 28 unidades experimentales de 24 m², su largo era de seis metros y su ancho de cuatro metros. se tenía cuatro surcos distanciados un metro entre sí y cada surco tenía veinte plantas distanciadas 0.3 m al momento de la siembra. Cada unidad experimental consistió en 80 plantas.

- Número de surcos por unidad experimental : 4.0
- Distancia entre plantas (m) : 0.3
- Número de plantas por unidad experimental : 80.0
- Número de repeticiones : 4.0
- Número de tratamientos : 7.0
- Número de unidades experimentales : 28.0
- Largo de unidad experimental (m) : 6.0
- Ancho de unidad experimental (m) : 3.6
- Área de unidad experimental (m²) : 21.6
- Área del experimento (m²) : 604.8

3.8 MANEJO AGRONÓMICO DEL EXPERIMENTO

a. Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó el 20 de noviembre del 2018, se inició con el retiro manual de rastrojos del cultivo anterior. Se realizó un doble arado cruzado, luego se pasó una rastra junto a una barra pesada que cumplió la función de nivelación.

b. Siembra

Las semillas vegetativas de Imilla negra, eran de categoría certificada y tenían un peso entre 40 y 60 gramos, además los brotes de los tubérculos tenían una longitud aproximada de dos centímetros. La siembra se realizó el día 26 de noviembre del 2018, la distancia entre plantas fue de 0.3 m y entre surcos 0.9 m.

c. Aporque

Durante el experimento se realizaron dos aporques, el primero fue realizado el día 17 de enero de 2019, en el que se realizó la aplicación de los tratamientos de calcio, el segundo aporque fue el 6 de febrero del 2019 cuya principal función fue trasladar más suelo cerca del cuello de planta para brindar más espacio para el llenado de los tubérculos.

d. Fertilización

La dosis de fertilización empleada en el campo fue de 213 – 100 – 80 kilogramos para N – P – K (nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente), y fue realizado en dos momentos, el primer momento fue antes de la siembra en donde se incorporó al suelo 120 – 100 – 80 (N – P – K), la segunda fertilización se realizó en el primer aporque donde se completó la dosis de nitrógeno (93 kg ha^{-1}). Los fertilizantes empleados fueron urea, fosfato diamónico, cloruro de potasio en la primera etapa de fertilización y en el aporque se empleó nitrato de amonio y Yaraliva NITRABOR.

e. Riegos

Durante el experimento no se realizaron riegos, solo se dependía de la precipitación, la producción fue en condiciones de secano.

f. Control de malezas

Las labores de control de malezas del experimento fueron de manera manual, realizándose un total de tres desmalezados, el primero se realizó a los 35 dds, el segundo a los 52 dds (primer aporque) y el ultimo a los 72 dds (segundo aporque).

g. Control fitosanitario

La presencia de plagas fue monitoreada de manera regular, en el follaje las plagas de mayor incidencia fueron *Premnotrypes* spp. y *Phthorimaea operculella*, sin embargo, no presentó una gran amenaza por el control oportuno que se realizaba. Por otro lado, el control de enfermedades siempre fue preventivo, las aplicaciones estaban dirigidas principalmente al control de *Alternaria solani*. Los químicos empleados para esta labor están detallados en la siguiente Tabla.

Tabla 10: Insecticidas y fungicidas empleados en el experimento

Año	Día	Químico	Dosis (l cil ⁻¹)	Cilindros	L/kg usados
2018	4-Dic	Methamidophos + Cypermetrina	0.4	0.3	0.12
		adherente	0.2	0.3	0.06
	10-Dic	Procloraz	0.3	0.3	0.09
		adherente	0.2	0.3	0.06
	18-Dic	Fipronil	0.25	0.4	0.10
		adherente	0.2	0.4	0.08
		Tebuconazol + mancozeb	0.25	0.5	0.16
2019	2-Ene	Methamidophos + Cypermetrina	0.4	0.5	0.20
		adherente	0.2	0.5	0.10
		Fipronil	0.25	0.6	0.15
	15-Ene	Procloraz	0.3	0.6	0.18
		adherente	0.2	0.6	0.12
		Tebuconazol + mancozeb	0.25	0.6	0.15
	28-Ene	Methamidophos + Cypermetrina	0.4	0.6	0.24
		adherente	0.2	0.6	0.12
		Fipronil	0.25	0.8	0.20
	11-Feb	Procloraz	0.3	0.8	0.24
		adherente	0.2	0.8	0.16
		Fipronil	0.25	0.8	0.20
25-Feb	Procloraz	0.3	0.8	0.24	
	adherente	0.2	0.8	0.16	

h. Cosecha

La cosecha se realizó el día 23 de mayo de 2019, se realizó de forma manual.

3.9 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño utilizado en la presente investigación fue el Diseño de Bloques Completos al Azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Las pruebas estadísticas realizadas fueron: Análisis de Variancia y la prueba Duncan con niveles de confianza de 95 % para la comparación de medias entre tratamientos (solo en los casos que se encuentre diferencia entre los tratamientos según el ANVA). Los análisis de varianza y comparaciones de medias

(Duncan) se obtuvieron con en el programa “R”, utilizando el paquete estadístico “Agricolae”.

El modelo aditivo lineal que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Representa la observación correspondiente al i - ésimo tratamiento del j - ésimo bloque.

μ = Es la media general de las observaciones.

T_i = Es el efecto producido por el i - ésimo tratamiento.

B_j = Es el efecto producido por el i - ésimo bloque.

ϵ_{ij} = efecto aleatorio del error experimental asociado a Y_{ij} .

El ANOVA esperado para un diseño DBCA con siete tratamientos y cuatro repeticiones es el siguiente (Tabla 11):

Tabla 11: ANOVA del diseño experimental para siete tratamientos y cuatro repeticiones

Fuente	G.L.	S.C.	M.C.	Valor F	Valor P
Tratamiento	6	**	**	**	**
Bloque	3	**	**	**	**
Error	18	**	**		
Total	27	**			

3.10 VARIABLES EVALUADAS EN EL EXPERIMENTO

a. Altura de planta

La altura de planta fue registrada en los días 60, 75 y 90 días después de la siembra, esta variable se expresó en centímetro (cm), para esto se empleó una cinta métrica de 1.5 m. En cada unidad experimental, se seleccionó dos plantas representativas (ni las más grandes ni las más pequeñas). Se midió desde el cuello de planta hasta el ápice del tallo más prominente, estas plantas fueron marcadas para seguir su registro, después de los aporques se retiraba la tierra hasta encontrar el cuello de planta.

b. Materia seca de hojas

Aproximadamente se recolectaron 100 gramos de hojas de diversas plantas en cada unidad experimental. Se registró el peso inicial antes de ser sometidas a 70 °C en una estufa durante tres días. Esta variable fue expresada en porcentaje, el cual representa la relación entre el peso seco y el peso fresco de las hojas.

c. Materia seca de tallos

Se colectaron aproximadamente 100 gramos de tallos a los 80 días después de la siembra. Los tallos colectados fueron trozados en partes más pequeñas, se registró el peso inicial antes de ser sometidas 70 °C en una estufa durante tres días. Esta variable fue expresada en porcentaje, el cual representa la relación entre el peso seco y el peso fresco del tallo.

d. Relación peso Hojas/Tallo

En base a los resultados obtenidos en las variables materia seca de hojas y tallos, se determinó este parámetro dividiendo el peso de las hojas secas entre el peso de los tallos secos.

e. Número de tubérculos por planta

El total de tubérculos cosechados de los surcos centrales de cada unidad experimental fue dividido entre el número de plantas contabilizadas al momento de la cosecha. Se contabilizó tanto los tubérculos comerciales como los no comerciales.

f. Rendimiento total

Se pesó el total de tubérculos cosechados en los surcos centrales de cada unidad experimental y se determinó los componentes del rendimiento (número y categoría de tubérculos). Esta variable se expresó en $t.ha^{-1}$.

g. Rendimiento comercial

La producción comercial se estimó según los valores establecidos en el mercado de Puno, los tubérculos que se consideraron en esta variable fueron los que poseían un peso mayor a 20 gramos, además de no presentar ningún daño de plagas, enfermedades o mecánicas. Los valores se expresaron en $t.ha^{-1}$.

h. Rendimiento no comercial

La producción no comercial estuvo compuesta por tubérculos con un peso inferior a 20 g y los que presentaban daños por enfermedades, insectos, mecánicos o ambientales. Esta variable se expresó en $t.ha^{-1}$.

i. Calibre de la producción

Respecto a la calidad de la producción, los parámetros establecidos como comerciales fueron establecidos según el peso de los tubérculos, los tubérculos de primera presentaron un peso mayor a 100 gramos, los de segunda estuvieron entre 60 y 100 gramos y los de tercera entre 20 y 60 gramos. Respecto a la calidad de la producción no comercial, se consideraron como chuño los tubérculos sin daños con un peso inferior a 20 gramos, además, se consideraron como descarte aquellos tubérculos con algún tipo de daño.

j. Materia seca de tubérculos

Se seleccionó una muestra representativa de cada unidad experimental, es decir, se tomó tubérculos de cada categoría de manera proporcional a lo reportado en la calidad de la producción. Los tubérculos fueron picados en trozos más pequeños (para facilitar el proceso de secado en la estufa) y se realizó una mezcla de los trozos, de ella se cogieron aproximadamente 100 gramos los cuales fueron llevados a estufa (70 °C) durante tres días. Esta variable fue expresada en porcentaje, el cual representa la relación entre el peso seco y el peso fresco de los tubérculos.

k. Concentración de nutrientes en tubérculos

Se seleccionó una muestra representativa de cada unidad experimental, es decir, tubérculos de cada categoría de manera proporcional a lo reportado en la calidad de la producción, cada muestra fue etiquetada y almacenada correctamente para su traslado al laboratorio de análisis de suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM, en donde realizaron análisis del contenido de nitrógeno, calcio, zinc, hierro y boro.

l. Análisis económico

Para este análisis, se multiplico el valor de producción comercial de todos los tratamientos por dos precios de venta en chacra de Imilla negra en Puno. Además, se calculó el costo de producción de cada tratamiento. La rentabilidad se obtuvo del porcentaje que representa el valor total de venta (en ambos precios) respecto al costo de producción del tratamiento respectivo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ALTURA DE PLANTA

A nivel de promedios, las plantas con el tratamiento de 104 kg.ha⁻¹ de calcio presentaron mayor porte hasta los 75 días después de la siembra (dds). Según las pruebas de comparación de medias de Duncan (0.05), a los 60 dds no se encontraron diferencias significativas en el porte de plantas con los tratamientos 104, 130 y 156 kg.ha⁻¹ de calcio. Por otro lado, a los 75 dds no se encontraron diferencias entre los tratamientos 0, 26, 52, 78, 104 y 130 kg.ha⁻¹ de calcio y las plantas que recibieron más de 104 kg.ha⁻¹ mostraron menor porte. A los 90 dds los valores de altura de planta variaron entre 98.14 y 104.72 cm y sin diferencia estadística.

Tabla 12: Altura de planta (cm) empleando diferentes niveles de fertilización cálcica en la variedad de papa Yana imilla en Puno

Tratamientos	Altura de planta					
	60 dds		75 dds		90 dds	
	cm	%	cm	%	cm	%
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	46.80 ab	100.00	73.93 ab	100.00	100.38 a	100.00
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	45.33 ab	96.86	74.33 ab	100.54	101.89 a	101.50
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	43.53 b	93.01	74.33 ab	100.54	104.36 a	103.96
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	44.53 b	95.15	74.13 ab	100.27	103.45 a	103.06
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	48.47 a	103.57	77.13 a	104.33	104.72 a	104.32
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	45.07 ab	96.30	72.73 ab	98.38	99.32 a	98.94
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	45.33 ab	96.86	72.27 b	97.75	98.14 a	97.77
Promedio	45.58		74.12		101.75	

Nota: Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

La ligera diferencia numérica de las alturas de planta entre los tratamientos, indica el poco o nulo efecto que tiene el calcio sobre esta variable. Los factores que alteran en mayor grado la altura de planta son la temperatura, el genotipo de papa y fertilización NPK. A los 90 días después de la siembra (dds) el tratamiento 104 kg.ha⁻¹ de Ca, es superior al tratamiento control en un 4.32 %; de igual modo, a partir de esa concentración de aplicación de calcio,

se observa un decrecimiento, 156 kg.ha⁻¹ de calcio mostró una altura de planta inferior (98.14) (2.23 % menor respecto al control). Probablemente el efecto alcalinizante del nitrato de calcio alteró la disponibilidad de algunos elementos, limitando el crecimiento de la planta.

4.2 MATERIA SECA DE HOJAS

La prueba de comparación de medias de Duncan con 95 % de confianza, indica que las plantas con mayor materia seca foliar fueron las que recibieron 78 y 104 kg.ha⁻¹ de calcio diferenciándose estadísticamente de los tratamientos 130 y 156 kg.ha⁻¹ de calcio. No se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos 0, 26 y 52 kg.ha⁻¹ (Tabla 13).

En la Tabla 13, se observa que el tratamiento 78 kg.ha⁻¹ de calcio fue 12.30 % superior respecto al tratamiento control, además el que tratamiento con mayor cantidad de calcio (156 kg.ha⁻¹) presentó la mayor variación negativa (22.86 % inferior respecto al control). Además, se observa que el porcentaje de materia seca foliar en las plantas sin calcio mostraron un valor mayor probablemente porque se incluyeron hojas más maduras, las cuales por edad poseen una mayor proporción de materia seca.

En su estudio sobre la influencia de la aplicación de yeso (calcio) sobre el rendimiento y la calidad de tubérculos de papa, Modisane (2007b), evaluó el efecto de cuatro niveles de yeso (3, 6, 12 y 25 t.ha⁻¹) sobre el peso seco foliar (g m⁻²) durante 120 días, realizando evaluaciones a los 40, 60, 80 y 120 días. Como era de esperarse, describió una curva sigmoideal incrementándose desde los 40 dds hasta los 80 dds, el valor disminuyó a los 120 dds. No encontró diferencia significativa en los 40, 60 y 120 dds. Respecto a los 80 dds es difícil establecer si encontró diferencia significativa porque el P valor de sus resultados es 0.049.

Posteriormente, Gumede y Kempen (2017b), estudiaron tres niveles de calcio (1.6, 3.2 y 6.6 meq Ca L⁻¹ vía sistema de riego) en tres tipos de suelos (arenoso, franco arenoso y franco) en el cultivo de papa bajo condiciones de bajas temperaturas. Indican que encontraron diferencia a nivel de fertilización de calcio en el peso fresco del follaje, sin embargo, a nivel de peso seco no encontraron diferencias estadísticas. Los mismos autores (Gumede y Kempen, 2017c), evaluaron el crecimiento, rendimiento y la calidad de papa tras la aplicación de calcio vía drench, cuyos tratamientos fueron control, 9 meq L⁻¹ de calcio en las semanas 6, 7, 8, 9 y 10 después de la siembra, 4 meq L⁻¹ de calcio en las semanas 6, 7, 8, 9 y 10 después de la siembra y 9 meq L⁻¹ de calcio en las semanas 6, 7 y 8 después de la siembra. No encontraron diferencias estadísticas respecto al porcentaje de la materia seca foliar entre sus tratamientos.

Tabla 13: Materia seca (%) de hojas en plantas de Yana imilla con diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno

Tratamientos	Materia seca de hojas	
	Porcentaje (%)	Duncan (0.05)
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	23.49 (100.00 %)	ab
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	20.42 (86.93 %)	bcd
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	22.77 (96.93 %)	bc
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	26.38 (112.30 %)	A
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	23.86 (101.58 %)	Ab
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	19.68 (83.78 %)	Cd
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	18.12 (77.14 %) d	
Promedio	22.10	
CV (%)	15.12	

Nota: Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

4.3 MATERIA SECA DE TALLOS

Según la Tabla 14, las plantas con mayor materia seca de tallos fueron las fertilizadas con 78 kg.ha⁻¹ de calcio, el cual obtuvo 21.24 % de M.S. siendo 27.26 % superior respecto al tratamiento control, además, se diferenció estadísticamente de todos los tratamientos. No se encontró diferencia estadística entre los tratamientos 104, 130 y 156 kg.ha⁻¹ de calcio. Los tratamientos con mayor dosis de calcio presentaron tallos con menor materia seca (El tratamiento 130 kg.ha⁻¹ de calcio obtuvo el menor valor y fue 30.20 % inferior respecto al control).

Tabla 14: Materia seca (%) de tallos en plantas de Yana imilla con diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno

Tratamientos	Materia seca de tallos	
	Porcentaje (%)	Duncan (0.05)
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	16.69 (100.00 %)	b c
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	12.68 (75.97 %)	c d
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	17.09 (102.40 %)	b
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	21.24 (127.26 %)	a
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	15.79 (94.61 %)	b c d
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	11.65 (69.80 %)	d
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	13.14 (78.73 %)	b c d
Promedio	15.47	
CV (%)	25.41	

Nota: Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

Los factores que más afectan la materia seca de los órganos son la cantidad de agua de lluvia o riegos y la fertilización nitrogenada; mayores cantidades de riego o nitrógeno prolongan el periodo vegetativo, manteniendo las plantas “verdes” por un tiempo más prolongado. Por lo tanto, generan una mayor cantidad de metabolitos (estos no necesariamente se dirigirán a los órganos de reserva), generalmente se emplean en el crecimiento caulinar y foliar. Otro factor importante es el tiempo de vida del órgano (mientras más antiguos son los órganos, mayor materia seca acumulada presentan), en el caso de los tallos, las células pasan por procesos de diferenciación, lignificándose o suberizándose, por lo que el porcentaje de células vivas en el tallo se reduce, dando como resultado un incremento de materia seca caulinar.

Modisane (2007b), evaluó el efecto de cuatro niveles de yeso (3, 6, 12 y 25 t.ha⁻¹) sobre el peso seco de tallos (g m⁻²) durante 120 días, realizando evaluaciones a los 40, 60, 80 y 120 días. Los valores se incrementaron desde los 40 dds hasta los 80 dds, el valor disminuyó a los 120 dds. Modisane (2007c), empleó cuatro niveles de calcio en sus riegos (44, 176, 352 y 704 mg L⁻¹) en dos condiciones de temperatura (22/14 y 27/17 °C día/noche). En el primer caso no encontró diferencias estadísticas en sus evaluaciones, pero si en el segundo caso, probablemente por efecto del ambiente, es decir, una mayor temperatura conllevaría una mayor evapotranspiración, por lo cual esas plantas serían hidratadas (regadas) con una mayor frecuencia, siendo el agua la principal variable que afectaría la materia fresca y porcentaje de materia seca de los tejidos.

4.4 RELACIÓN PESO HOJAS/TALLO

Aunque sin diferencias estadísticamente significativas, la Tabla 15 muestra que las plantas con mayor relación de peso hoja/tallo fueron las que recibieron 26 kg.ha⁻¹ de calcio el cual obtuvo una relación de 1.37 siendo un 8.38 % superior en relación al tratamiento control, así mismo, el tratamiento que obtuvo la menor relación fue el tratamiento que recibió una mayor cantidad de calcio (156 kg.ha⁻¹ de calcio).

De manera semejante, en el experimento realizado por Modisane (2007b) las plantas mostraron una tendencia a la disminución de esta relación a medida que se agregaba calcio al suelo, sin embargo, no mostraron diferencias entre sí.

Tabla 15: Relación peso hojas/tallo en plantas de Yana imilla con diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno

Tratamientos	Relación peso hoja/tallo	
	Relación	Duncan (0.05)
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	1.27 (100.00 %)	a
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	1.37 (108.38 %)	a
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	1.25 (98.82 %)	a
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	1.23 (97.23 %)	a
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	1.20 (95.20 %)	a
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	1.35 (106.63 %)	a
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	1.16 (91.69 %)	a
Promedio	1.26	
CV (%)	13.42	

Nota: Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

4.5 NÚMERO DE TUBÉRCULOS POR PLANTA

No se encontró diferencias significativas respecto al número total, comercial y no comercial de tubérculos por planta empleando diferentes niveles de fertilización cálcica (Tabla 16; Anexo 5). A nivel de promedios, los tratamientos que produjeron un ligero mayor número total de tubérculos por planta fueron 78 y 104 kg.ha⁻¹ de calcio; las plantas con 104 kg.ha⁻¹ presentaron 17.84 tubérculos planta⁻¹ siendo un 6.70 por ciento superior respecto al tratamiento control. Por otro lado, el tratamiento con 52 kg.ha⁻¹ de calcio mostró el menor número de tubérculos planta⁻¹ (16.24 tubérculos planta⁻¹). En relación al número comercial de tubérculos por planta, los valores variaron entre 11.88 y 13.56 apreciándose un ligero incremento del número de tubérculos a medida que se incrementa la dosis de calcio. El tratamiento 104 kg.ha⁻¹ de Ca fue 14.14 % superior respecto al tratamiento control. Finalmente, todos los tratamientos produjeron un número de tubérculos no comerciales inferiores al control; el tratamiento con el menor número de tubérculos no comerciales por planta fue 52 kg.ha⁻¹ de Ca siendo 31.96 % inferior al control (Tabla 16).

Tabla 16: Número de tubérculos por planta y significación estadística de promedios por efecto de diferentes niveles de fertilización cálcica en la variedad Yana imilla

Tratamientos	Tubérculos planta ⁻¹		
	Totales	Comerciales	No comerciales
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	16.72 ^a	11.88 ^a	4.85 ^a
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	16.73 ^a	12.77 ^a	3.97 ^a
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	16.24 ^a	12.94 ^a	3.30 ^a
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	17.00 ^a	12.84 ^a	4.16 ^a
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	17.84 ^a	13.56 ^a	4.28 ^a
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	16.99 ^a	13.09 ^a	3.90 ^a
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	16.42 ^a	13.08 ^a	3.33 ^a
Promedio	16.85	12.88	3.97
CV (%)	6.47	13.08	29.17

Nota: Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

Vreugdenhil et al. (2007), indican que las plantas de papa están adaptadas a climas fríos con temperaturas medias entre 15 y 18 °C en el suelo y en el aire respectivamente, en este experimento las temperaturas medias variaron entre 12.45 y 17.27 °C. Van Delden et al. (2000), indican que la temperatura es el factor que influye más en el número de tubérculos de papa, mencionando que temperaturas altas favorecen el desarrollo del follaje y retrasan la tuberización. Esto es debido al aumento de giberelina, el cual cumple un rol crítico en la tuberización (Ewing, 1995; Jackson, 1999; Koda y Okazawa, 1983; Xu et al., 1998). Bush (1993), menciona que el calcio reduce la actividad de las giberelinas en las plantas, por lo que posiblemente altos contenidos de calcio afecten la tuberización, lo cual en este experimento no se observó. Posiblemente el calcio no tenga ningún efecto sobre el número de tubérculos por planta porque no es un factor determinante en esta variable, además es probable que otros elementos o condiciones atmosféricas favorables en la producción de giberelinas atenuaron el efecto negativo del calcio.

Özgen y Palta (2004), evaluaron cuatro fuentes de fertilización (control, nitrato de amonio, cloruro de calcio + nitrato de amonio y nitrato de calcio) de las cuales dos poseían aproximadamente 168 kg.ha⁻¹ de calcio; en todos sus tratamientos la cantidad de nitrógeno aportado fue de 280 kg.ha⁻¹. Respecto al número de tubérculos, encontró diferencias

significativas, los tratamientos con calcio mostraron menores valores respecto al control y a los con nitrato de amonio.

Consorte (2001), estudió dos fuentes y cinco dosis de calcio y nitrógeno en la producción de papas en Brasil. Encontró diferencias significativas a nivel de dosis de fertilización cálcica, sus tratamientos de dosis fueron 0, 25, 50, 75 y 100 kg.ha⁻¹ de calcio. Los valores se encontraron entre 41.0 y 53.6 tubérculos m⁻¹. Banerjee et al. (2014), evaluaron el impacto de la nutrición cálcica sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de papa durante tres inviernos (2010, 2011, 2013) en Hooghly (India), los tratamientos fueron 0 - 0, 40 - 0, 20 - 20, 80 - 0, 40 - 40, 120 - 0 y 60 - 60 kg.ha⁻¹ de calcio (siembra - aporque). El tratamiento 120 - 0 obtuvo el mayor número de tubérculos en los tres años.

Gumede y Kempen (2017a), estudiaron cuatro variedades y cuatro niveles de fertilización cálcica (1.6, 3.2, 6.6 y 9.8 meq L⁻¹ Ca) en condiciones de invernadero en la universidad Stellenbosch (Sudáfrica). Encontraron diferencias significativas a nivel de fertilización, donde 3.2 meq L⁻¹ se diferenció del resto, además de obtener el mayor valor de tubérculos por planta. Gumede y Kempen (2017c), evaluaron el crecimiento, rendimiento y la calidad de papa tras la aplicación de calcio vía drench, no encontraron diferencia significativa en el número de tubérculos.

4.6 RENDIMIENTO TOTAL, COMERCIAL Y NO COMERCIAL

La Tabla 17 presenta los rendimientos promedios totales y de las clasificaciones comercial y no comercial de tubérculos producidos por efecto de los tratamientos con calcio. Aunque los análisis de variancia (Anexo 6) no mostraron diferencias estadísticas en los rendimientos, a nivel de promedios se aprecia cierta tendencia a una mayor producción total y comercial a medida que se incrementa la dosis de calcio.

Tabla 17: Rendimiento total, comercial y no comercial (t.ha-1) de la variedad de papa Yana imilla por efecto de diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno

Tratamientos	Total		Rendimiento Comercial		No comercial	
	t.ha ⁻¹	Índice	t.ha ⁻¹	Índice	t.ha ⁻¹	Índice
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	19.93 ^a	100.00	14.80 ^a	100.00	5.13 ^a	100.00
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	20.69 ^a	105.17	15.76 ^a	106.49	4.93 ^a	96.10
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	21.39 ^a	107.33	17.04 ^a	115.14	4.35 ^a	84.80
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	21.01 ^a	105.42	15.96 ^a	107.84	5.05 ^a	98.44
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	21.61 ^a	108.43	16.43 ^a	111.01	5.18 ^a	100.97
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	21.60 ^a	108.38	16.59 ^a	112.09	5.01 ^a	97.66
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	23.16 ^a	116.21	18.55 ^a	125.34	4.61 ^a	89.86
Promedio	21.34		16.45		4.89	
CV (%)	14.65		20.52		18.60	

Nota: Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 % Δ variación porcentual respecto al tratamiento control

El rendimiento total de tubérculos con el tratamiento 156 kg.ha⁻¹ de calcio, obtuvo los mayores valores de rendimiento total y comercial (23.16 y 18.55 t.ha⁻¹, respectivamente). Las dosis crecientes de calcio en la fertilización indican que se obtiene incrementos en el rendimiento total de 5.17, 7.33, 5.42, 8.43, 8.38 y 16.21 por ciento respectivamente para los tratamientos del experimento. De igual modo, en el rendimiento comercial, los mismos tratamientos mostraron incrementos porcentuales respecto al control de 6.49, 15.14, 7.84, 11.01, 12.09 y 25.34 respectivamente.

El rendimiento total varió entre 19.93 y 23.16 t.ha⁻¹. Este valor es algo menor respecto al rendimiento potencial de Yana imilla (aproximadamente 30 t.ha⁻¹; Arcos, 2019) atribuido a los daños por granizadas ocurridas durante la etapa de tuberización, al respecto, Medina (2019), menciona que la papa cuando se encuentra en el momento de llenado y tuberización es muy activa en la fotosíntesis y translocación de fotosintatos, si está se ve limitada (daños mecánicos del follaje por efecto del granizo), la planta de papa reduce sus actividad foliar y translocación y llenado, limitando los rendimientos esperados.

Özgen y Palta (2004), en su experimento con cloruro de calcio y nitrato de calcio), de aproximadamente 168 kg.ha⁻¹, no encontraron diferencias significativas en el rendimiento total.

Por otra parte, Jadoski et al. (2009), quienes evaluaron tres niveles de CaCO_3 (0.87, 1.87 y 2.87 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y tres niveles de saturación de calcio (50, 60 y 70) en Brasil, tampoco encontraron diferencias significativas respecto a los niveles de CaCO_3 con rendimientos de 24.43, 26.37 y 25.68 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Del mismo modo, en el estudio de fuentes (2) y dosis (5) de calcio y nitrógeno en la producción de papas en Brasil, Consorte (2001), no encontró diferencias significativas por efecto de las dosis de fertilización cálcica (0, 25, 50, 75 y 100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de calcio).

En los experimentos de Banerjee et al. (2014), en los que evaluaron la nutrición cálcica en papa durante tres inviernos en la India y solamente obtuvieron diferencias significativas en el primer año. Gumede y Kempen (2017c), evaluaron el crecimiento, rendimiento y la calidad de papa tras la aplicación de calcio vía drench. No encontraron diferencias estadísticas respecto al peso total de tubérculos por planta (291, 254, 287 y 216 $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$, respectivamente).

Respecto al rendimiento de tubérculos no comerciales, aunque hubo una ligera reducción de esta categoría y no habiendo diferencias estadísticamente significativas entre los promedios (Anexo 6), no es posible afirmar que las dosis crecientes de calcio reduzcan la producción de tubérculos no comerciales.

Sin embargo, a nivel de promedios, resalta el tratamiento con mayor cantidad de calcio por hectárea (156 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) el cual produjo el mayor rendimiento total, el mayor rendimiento comercial y el rendimiento no comercial fue 10.1 por ciento menor que el de las plantas testigo.

La Tabla 18 presenta los porcentajes de tubérculos comerciales y no comerciales. Aunque sin diferencias estadísticas (Anexo 6), se aprecia que las dosis crecientes de calcio mejoran la proporción de tubérculos comerciales y reducen la proporción de tubérculos no comerciales. Estos últimos resultados coinciden con lo encontrado por Consorte (2001) y Banerjee et al. (2014) quienes en sus investigaciones también evaluaron los rendimientos comerciales y no comerciales y no encontraron diferencias significativas en estas variables.

Tabla 18: Porcentajes de rendimiento comercial y no comercial de la variedad de papa Yana imilla bajo diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno

Tratamientos	Total	Rendimiento (%)	
		Comercial	No comercial
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	100	70.76 ^a	29.24 ^a
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	100	76.16 ^a	23.84 ^a
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	100	79.36 ^a	20.64 ^a
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	100	75.49 ^a	24.51 ^a
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	100	75.81 ^a	24.19 ^a
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	100	76.89 ^a	23.11 ^a
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	100	79.41 ^a	20.59 ^a
Promedio		76.30	23.70
CV (%)		9,67	31.13

Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

4.7 CALIBRES EN LOS TUBÉRCULOS COMERCIALES Y NO COMERCIALES

La Tabla 19 presenta los rendimientos y la proporción de tubérculos de acuerdo a su calibre o tamaño; del mismo modo, muestra que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre promedios por efecto de los tratamientos con calcio (Anexo 7) en los que, además, los coeficientes de variabilidad son altos.

Los porcentajes de producción por categorías de tamaño o calibre en el experimento fueron de 11.95, 41.17 y 46.88 % para las categorías primera (Mayores de 100 gramos), segunda (60 – 100 gramos) y tercera (menores de 60 gramos), respectivamente. Se aprecia que los tubérculos menores de 60 gramos representaron el 88 por ciento de la producción promedio total.

Tabla 19: Rendimientos y proporciones de los calibres de tubérculos comerciales por efecto de los diferentes niveles de fertilización cálcica en la variedad Yana imilla en Puno

Tratamientos	Calibres de tubérculos comerciales							
	Comercial		Primera		Segunda		Tercera	
	t.ha ⁻¹	%	t.ha ⁻¹	%	t.ha ⁻¹	%	t.ha ⁻¹	%
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	14.80 ^a	100	1.74 ^a	9.55	6.17 ^a	39.60	6.89 ^a	50.85
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	15.76 ^a	100	1.37 ^a	8.76	7.26 ^a	45.78	7.13 ^a	45.46
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	17.04 ^a	100	3.04 ^a	17.65	6.68 ^a	39.53	7.32 ^a	42.83
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	15.96 ^a	100	1.60 ^a	8.67	6.70 ^a	41.31	7.66 ^a	50.02
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	16.43 ^a	100	2.16 ^a	12.70	6.30 ^a	38.34	7.96 ^a	48.97
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	16.59 ^a	100	2.28 ^a	13.68	6.44 ^a	38.72	7.87 ^a	47.60
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	18.55 ^a	100	2.37 ^a	12.67	8.67 ^a	44.91	7.51 ^a	42.42
Promedio	16.45		2.08	11.95	6.89	41.17	7.48	46.88
CV	20.52		51.70		32.49		17.88	

Nota: Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

Al igual que lo mencionado en párrafos anteriores sobre el rendimiento total, se aprecia una muy ligera tendencia al incremento de los tres calibres a medida que se incrementan las dosis de calcio.

El tamaño de los tubérculos depende de la variedad y de la duración del periodo de pleno crecimiento en el que se espera condiciones favorables de temperatura y agua disponible para alcanzar un mayor ritmo de tuberización. Los rendimientos y calibres de tubérculos de la variedad Yana imilla obtenidos en el presente experimento son comunes en el Altiplano de Puno donde las bajas temperaturas y la baja pluviosidad limitan la mejor fotosíntesis y translocación de fotoasimilados. Medina (2019), indica que el porcentaje de papas de categoría primera del experimento es menor al promedio estimado para Yana imilla (20.19 %) el que es atribuido al daño producido por las granizadas ocurridas durante la tuberización de las plantas del experimento.

Además, considerando el porte alto de plantas (100 cm) hasta los 90 días después de la siembra, podría ser posible reconocer que la dosis empleada de nitrógeno, al influir directamente en el crecimiento del follaje pudiera haber estado en exceso y generar un mayor crecimiento del follaje y retraso del periodo de llenado de los tubérculos.

Jerez et al., (2017), mencionan que el crecimiento y desarrollo de los tubérculos de papa están determinados por factores genéticos, medio ambientales y de las interacciones entre los procesos metabólicos como la fotosíntesis y respiración con el transporte de fotoasimilados, las relaciones hídricas y la nutrición mineral; todas ellas se traducen en un incremento de la materia seca así como el volumen del órgano de reserva, como resultado de la expansión, división y diferenciación celular en los tubérculos (Tekalign y Hammes, 2005; Franke et al., 2013).

En el experimento de Gumede y Kempen (2017c) en el que evaluaron el rendimiento y la calidad de papa tras la aplicación de calcio vía drench, clasificaron el tamaño de tubérculos cosechados en las categorías Chicas (< 20 g), Medianas (20 < >80 g) y Grandes (> 80 g); en ninguna categoría se encontró diferencia significativa entre los tratamientos y los porcentajes por cada categoría fueron 20.68, 42.99 y 36.33 % respectivamente.

En su ensayo evaluando cuatro fuentes de fertilización (control, nitrato de amonio, cloruro de calcio + nitrato de amonio y nitrato de calcio), Özgen y Palta (2004), solo determinaron dos categorías de calibres: los que pesan más de 56 g y los de menor peso. No encontraron diferencias significativas entre sus tratamientos que incluían calcio. El porcentaje de producción con un peso mayor a 56 g tubérculo⁻¹ fue de 49.5 y 47.8 % para cloruro de calcio + nitrato de amonio y nitrato de amonio respectivamente.

En el caso del rendimiento y proporción de los tubérculos clasificados como no comerciales (para Chuño y los de Descarte), tampoco se encontraron diferencias estadísticas entre promedios por efecto de las dosis de calcio (Tabla 20; Anexo 8) y, del mismo modo, los coeficientes de variabilidad fueron altos indicando que la alta variabilidad de los datos reduce la validez de las conclusiones.

Tabla 20: Rendimientos y proporciones de las categorías de tubérculos no comerciales (Chuño y Descarte) por efecto de los diferentes niveles de fertilización cálcica en Yana imilla en Puno

Tratamientos	Categorías de tubérculos No Comerciales					
	Total		Chuño		Descarte	
	t.ha ⁻¹	%	t.ha ⁻¹	%	t.ha ⁻¹	%
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	5.13 ^a	100	2.10 ^a	43.23	3.03 ^a	56.77
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	4.93 ^a	100	2.37 ^a	49.21	2.56 ^a	50.79
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	4.35 ^a	100	2.45 ^a	56.53	1.89 ^a	43.47
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	5.05 ^a	100	3.05 ^a	60.92	2.00 ^a	39.08
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	5.18 ^a	100	3.45 ^a	67.34	1.74 ^a	32.66
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	5.01 ^a	100	2.89 ^a	60.98	2.12 ^a	39.02
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	4.61 ^a	100	2.44 ^a	54.08	2.17 ^a	45.92
Promedio	4.89		2.68	56.04	2.22	43.96
CV (%)	18.60		25.38		47.82	

Nota: Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

Los promedios de rendimiento de tubérculos de la categoría chuño variaron entre 2.10 y 3.45 t.ha⁻¹ y se aprecia una ligera tendencia a una mayor producción de tubérculos de esta categoría en las plantas que recibieron calcio. De igual manera, en el rendimiento de tubérculos de la categoría Descarte se aprecia una tendencia a menor rendimiento en las plantas que recibieron calcio. Estos últimos resultados tienen importancia desde el punto de vista socio cultural. Los agricultores del Altiplano consideran de importancia y necesidad la producción de tubérculos para la elaboración de chuño dado que este producto procesado es de enorme utilidad como reserva para su seguridad alimenticia. Si bien la producción de chuño de los tratamientos es superior al tratamiento control, y la cantidad de descarte de los mismos es inferior al control, es probable que la aplicación de nitrato de calcio al alterar ligeramente el pH afecte el comportamiento de las enfermedades, probablemente inhibiendo su germinación o esporulación.

4.8 MATERIA SECA DE TUBÉRCULOS

Aunque el análisis de variancia (Anexo 9), no resulta significativa entre las diferencias de promedios, el coeficiente de variabilidad aceptable y la prueba de comparación de Duncan, indican que los tratamientos con dosis mayores a 130 kg.ha⁻¹ de calcio produjeron menor materia seca (Tabla 21).

Tabla 21: Materia seca (%) de tubérculos por efecto de diferentes niveles de fertilización cálcica en la variedad de papa Yana imilla en Puno

Tratamientos	Materia seca de tubérculos	
	Porcentaje (%)	Duncan (0.05)
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	21.84 (100.00 %)	a b
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	22.22 (101.74 %)	a b
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	22.89 (104.81 %)	b
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	26.90 (123.17 %)	a
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	24.11 (110.39 %)	a b
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	18.44 (84.43 %)	b
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	17.99 (82.37 %)	b
Promedio		22.05
CV %		21.72

Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

Los tubérculos del tratamiento con 78 kg.ha⁻¹ de calcio presentaron 26.90 % de materia seca diferenciándose, sobre todo, con el contenido de materia seca de los tubérculos de las plantas que recibieron 130 y 156 kg.ha⁻¹ de calcio. No se encontró diferencia estadística entre los tratamientos 0, 26 y 52 kg.ha⁻¹ de calcio (21.84, 22.22 y 22.89 % de M.S. respectivamente).

Los resultados podrían atribuirse a que el aumento de aplicación de nitrato de calcio afecta el porcentaje de materia seca; sin embargo, el llenado de los tubérculos es más sensible a los procesos de la translocación de los fotosintatos y su relación con el estado hídrico. Si alguno de estos factores se ve afectado, se frustrará el llenado de los tubérculos, por ende, la cantidad de materia seca que se almacenará en ella.

Hamdi et al. (2015), estudiaron el efecto del nitrato de calcio en la fertilización del cultivo de papa. Encontraron incrementos de la materia seca a medida que se incrementó las dosis de fertilizante, los valores se encontraron entre 9.7 y 15.8 % de materia seca. El tratamiento c/sin calcio (0 kg.ha⁻¹) obtuvo el menor valor y el mayor valor (15.8 %) se logró con una fertilización de 120 kg.ha⁻¹ de nitrato de calcio.

En el estudio de dos fuentes y cinco dosis de calcio y nitrógeno en la producción de papas realizado en Brasil, Consorte (2001), evaluó la materia seca en cuatro oportunidades (19, 42, 69 dds y en la cosecha), sin embargo, solo encontró diferencia estadística en la tercera

evaluación y en los tubérculos cosechados no encontró un aumento de la materia seca a medida que se aumenta los niveles de fertilización.

Modisane (2007a), evaluó el efecto de cuatro niveles de yeso (3, 6, 12 y 25 t.ha⁻¹) sobre el peso seco de tubérculos (g m⁻²) durante 120 días. Los contenidos de materia seca se incrementaron desde los 60 dds hasta los 120 dds. Banerjee et al. (2014), en su experimento con los tratamientos de 0 - 0, 40 - 0, 20 - 20, 80 - 0, 40 - 40, 120 - 0 y 60 - 60 kg.ha⁻¹ de calcio (siembra - aporque) encontraron diferencias significativas, el tratamiento Control (0 - 0) se diferenció del resto de tratamientos, sin embargo, los tratamientos con fertilización de calcio no se diferenciaron entre ellos, además no se mostró una relación directa entre el aumento de fertilización y la materia seca de tubérculos.

4.9 CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN TUBÉRCULOS

Según los resultados de contenidos de nitrógeno, calcio, zinc, hierro y boro en los tubérculos y la significación estadística de diferencias de promedios con los coeficientes de variabilidad presentados en la Tabla 22 y en el Anexo 10, solo se encontró diferencia estadística en la concentración de nitrógeno en los tubérculos. En la comparación de medias de Duncan, la dosis de 78 kg.ha⁻¹ de calcio obtuvo el mayor valor de nitrógeno (525.54 ppm); sin embargo, este resultado no permite establecer una conclusión importante por consideración a su coeficiente de variabilidad, considerado alto para datos de laboratorio. Gumede y kempen (2017a) no encontraron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno en los tubérculos.

Tabla 22: Concentración de nutrientes (ppm) en tubérculos de la variedad de papa Yana imilla empleando diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno

Tratamientos	Nutrientes en tubérculos (ppm)				
	Nitrógeno	Calcio	Zinc	Hierro	Boro
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	409.52 ^{ab}	12.51 ^a	20.86 ^a	166.31 ^a	15.76 ^a
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	460.25 ^{ab}	12.90 ^a	20.04 ^a	149.24 ^a	15.01 ^a
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	465.79 ^{ab}	12.55 ^a	20.34 ^a	146.26 ^a	15.34 ^a
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	525.54 ^a	18.40 ^a	19.32 ^a	156.74 ^a	14.65 ^a
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	452.97 ^{ab}	16.97 ^a	18.74 ^a	127.12 ^a	14.98 ^a
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	357.77 ^b	11.61 ^a	18.64 ^a	127.96 ^a	13.24 ^a
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	347.41 ^b	13.46 ^a	18.19 ^a	122.54 ^a	12.69 ^a
Promedio	431.32	14.06	19.45	142.31	14.52
CV (%)	21.53	33.64	14.48	86.58	23.18

Nota: Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan al 5 %

Aunque los contenidos de calcio, zinc, hierro y boro, no se diferenciaron por efecto de las dosis con calcio, el tratamiento con 78 kg.ha⁻¹ de calcio produjo tubérculos con mayor concentración de calcio. El fertilizante utilizado (Yaraliva NITRABOR) posee 26 % de Ca, el cual según Ginés y Mariscal (2002), se puede considerar como un fertilizante con efectos alcalinizantes en el suelo. El pH del suelo en el experimento al inicio fue 7.46, el cual probablemente aumentó en cierto grado en los tratamientos empleados, lo cual explicaría el ligero aumento del nitrógeno y calcio en los tubérculos.

Por otro lado, la disponibilidad del zinc y el hierro en el suelo se ve afectado cuando se incrementa el pH en el suelo (Tisdale et al., 1993; Porta et al., 2003). Este comportamiento se observa en la *Figura 5*, donde al incrementar el calcio en la fertilización, el pH del suelo se incrementa ligeramente y muestra un efecto negativo en la disponibilidad del Zn y Fe.

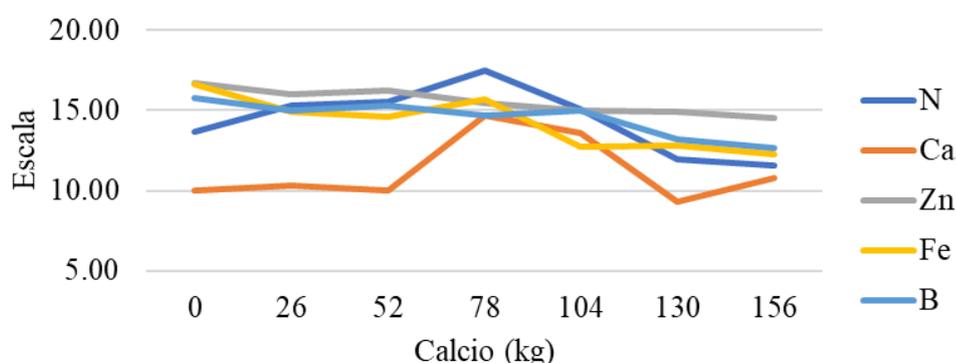


Figura 5. Concentración de N, Ca, Zn, Fe y B en tubérculos de Yana imilla producidos bajo diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno

Las concentraciones de calcio en los tubérculos expresados en porcentaje fluctuaron entre 0.04 y 0.09 que coinciden con los encontrados por Hamdi et al. (2015), Benarjee et al. (2014), Gumede y Kempen (2017b y 2017c) y Clough (1994), quienes tampoco encontraron diferencias en las concentraciones de calcio en los tubérculos si se emplean distintos niveles de calcio en la fertilización.

Por otro lado, Hamdi et al. (2015), empleando siete niveles de nitrato de calcio, encontró incrementos del porcentaje de calcio en los tubérculos. Benarjee et al. (2014), indican que la acumulación de calcio en los tubérculos incrementa si se emplean fertilizantes con calcio, sin embargo, indican que no se encuentran diferencias significativas en la concentración de calcio tanto si se emplea o no fertilizantes con calcio.

Özgen y Palta (2004), evaluaron cuatro fuentes de fertilización de las cuales dos poseían calcio (aproximadamente de $168 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y la cantidad de nitrógeno aportado fue de $280 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Encontraron diferencia en la cantidad de calcio en los tubérculos, la fertilización de cloruro de calcio + nitrato de amonio ($250 \mu\text{g g}^{-1}$) se diferenció de la fertilización con nitrato de calcio ($200 \mu\text{g g}^{-1}$) y también de los tratamientos sin calcio (aproximadamente $150 \mu\text{g g}^{-1}$ en ambos tratamientos).

Gumede y Kempen (2017b y 2017c), no encontraron diferencia significativa en las concentraciones porcentuales de calcio en los tubérculos. Clough (1994), en tres años de estudio empleando niveles de fertilización con calcio, encontró que las concentraciones de calcio en los tubérculos incrementan si se aumentan los niveles de fertilización con calcio.

Las concentraciones de zinc variaron entre 17.75 y 20.25 ppm y sin diferencias entre tratamientos. Clough (1994) tampoco encontró diferencia significativa en la concentración de zinc en los tubérculos de papa. Gumede y Kempen (2017b), no encontraron diferencia estadística significativa en la concentración de zinc, sin embargo, observaron que las cantidades de zinc incrementan cuando se emplea una mayor cantidad de calcio en la fertilización (1.86, 1.9 y 2.7 ppm empleando 1.6, 3.2 y 6.6 meq L^{-1} de calcio respectivamente).

En relación al hierro y boro en los tubérculos, no se encontraron diferencias significativas, y los valores de hierro variaron entre 122.75 y 288.25 ppm, y el boro estuvo entre 12.50 y 15.75 ppm. Se coincide con Clough (1994), al no encontrar diferencia significativa en la concentración de estos elementos empleando diferentes niveles de calcio en la fertilización.

4.10 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico de los tratamientos se realizó tomando en cuenta el ciclo de producción del cultivo de papa Yana imilla en Puno y se muestra en la Tabla 23. En el Anexo 12, se presentan los costos de producción para una hectárea de papa Yana imilla, los costos varían entre 8150.70 y 8955.90 soles, el menor costo corresponde al testigo y va aumentando a medida que se incrementa las dosis de fertilización cálcica, los precios de nitrato de amonio y Yaraliva NITRABOR son 70 y 100 Soles, respectivamente.

Para el análisis se consideró dos precios de venta de Yana imilla (Tabla 23), los cuales fueron proporcionados por profesional de la estación INIA Illpa (Arcos, 2019) y son los precios promedios de los meses de marzo, abril y mayo de los años 2016, 2017 y 2018 (Anexo 13). En el Perú los precios internos de los productos agrícolas experimentan periodos de crecimiento o decrecimiento como consecuencia del aumento de los precios internacionales de insumos agrícolas o de materias primas como los fertilizantes (IICA, 2010). Así mismo, el precio puede variar debido a la oferta nacional, es decir, si en una campaña se sembró mucho o poco, además, también puede verse influenciada por la realización de siembras tempranas o tardías, o en casos excepcionales ante eventos climáticos, como en el año 2017, se generó la limitación del acceso y transporte de alimentos del campo a las ciudades, originando un alza de precios en la chacra.

Tabla 23: Costos de producción de papa de la variedad Yana imilla (S/.ha⁻¹) empleando diferentes niveles de fertilización cálcica en Puno

Tratamientos	Producción comercial (kg.ha ⁻¹)	Costo de producción (ha)	Valor neto (S/)		Rentabilidad (%)	
			Precio en chacra (S/)		Precio en chacra (S/)	
			0.66	0.85	0.66	0.85
0 kg.ha ⁻¹ de calcio	14800.00	8150.68	9768.00	12580.00	19.84	54.34
26 kg.ha ⁻¹ de calcio	15760.00	8284.88	10401.60	13396.00	25.55	61.69
52 kg.ha ⁻¹ de calcio	17040.00	8419.08	11246.40	14484.00	33.58	72.04
78 kg.ha ⁻¹ de calcio	15960.00	8551.88	10533.60	13566.00	23.17	58.63
104 kg.ha ⁻¹ de calcio	16430.00	8688.88	10843.80	13965.50	24.80	60.73
130 kg.ha ⁻¹ de calcio	16590.00	8821.68	10949.40	14101.50	24.12	59.85
156 kg.ha ⁻¹ de calcio	18550.00	8955.88	12243.00	15767.50	36.70	76.06
Promedio	16447.14	8553.28	10855.11	13980.07	26.82	63.33

Como se observa en la Tabla 23, la rentabilidad incrementa a medida que se emplea más calcio en los planes de fertilización de los tratamientos, el menor valor fue obtenido con el

tratamiento control en ambos escenarios de precios en chacra (0.66 y 0.85), así mismo, el mayor valor de rentabilidad se obtuvo empleando 156 kg.ha⁻¹ de calcio.

Bajo un análisis comparativo de las demás variables, se observa que, empleando entre 78 y 104 kg de Ca, se obtiene los mejores resultados en la rentabilidad los cuales son muy cercanos (23.17 y 24.80 % con un precio de chacra de 0.66 soles, mientras que estos son 58.63 y 60.73 % con un precio de chacra de 0.85 soles), por lo tanto, al ser índices muy cercanos, se deben valorizar tomando en cuenta las otras variables agronómicas.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del presente experimento, con dosis crecientes de calcio en la fertilización de la variedad de papa nativa 'Yana imilla', realizado en un suelo de reacción neutra y con 9.38 meq/100g de Calcio en el Altiplano de Puno, se desprenden las siguientes conclusiones:

Aunque sin diferencias estadísticamente significativas, los promedios en el tamaño de plantas, peso seco de hojas y tallos, se incrementan hasta cierta dosis que en el presente estudio fue el de 78 kg.ha⁻¹ y 104 kg.ha⁻¹ de calcio.

Con diferencias estadísticamente significativas, las dosis crecientes de calcio incrementan el contenido de materia seca de los tubérculos hasta cierto límite que en el presente estudio fue la dosis de 104 kg.ha⁻¹ de calcio.

Las dosis crecientes de calcio producen tendencia hacia el incremento en el número de tubérculos de calibre comercial y tendencia a la reducción del número de tubérculos de los calibres no comerciales. En consecuencia, aunque sin diferencias estadísticas, las dosis crecientes de calcio incrementan el rendimiento total y comercial de tubérculos y reducen el rendimiento de tubérculos no comerciales.

La tendencia de los promedios de rendimiento indica que las dosis crecientes de calcio incrementan el rendimiento de tubérculos destinados para la elaboración de chuño y reducen el rendimiento de tubérculos con daños de plagas.

Se observa tendencia de incrementos en el contenido de nitrógeno y calcio en los tubérculos a medida que se incrementa la fertilización con calcio hasta el nivel de 104 kg.ha⁻¹ mientras que la aplicación de dosis crecientes de calcio tienden a reducir los contenidos de zinc, fierro y boro en los tubérculos.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar nuevos experimentos sobre efectos del calcio sobre el rendimiento y calidad de la producción de papa en otras localidades y condiciones climáticas.
- Evaluar diferentes niveles de calcio en variedades comerciales nativas y modernas con periodo vegetativo precoz, intermedio o tardíos.
- Realizar nuevos experimentos con calcio en el cultivo de papa y en suelos de diferente pH del suelo.
- Realizar análisis del contenido de calcio inicial del suelo para una mejor dosificación de la fertilización con calcio.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- APG (Angiosperm Phylogeny Group). (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. En: Botanical Journal of the Linnean Society, 181(1): 1-20
- Arcos, J. (2019, 15 de diciembre). Características generales de Imilla Negra en Puno. Comunicación personal. Puno - Perú.
- Balamani, V.; Veluthambi, K. y Poovaiah, B. (1986). Effect of calcium on tuberization in potato. Plant Physiology. 80. 856-858. Recuperado de: <http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/80/4/856.full.pdf>
- Banerjee, H.; Konar, A.; Chakraborty, A. y Puste, A. (2014). Impact of calcium nutrition on growth yield and quality of potato (*Solanum tuberosum*). SAARC Journal of Agriculture. 12 (1) : 127 - 138 pp. Disponible en <https://www.banglajol.info/index.php/SJA/article/view/21119>
- Bush, D. (1995). Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 46 (1) : 95 – 122 pp. Recuperada de <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.46.060195.000523>
- Cardona, C. (2005). Influencia de la fertilización foliar con Ca sobre la pudrición apical en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Agronomía Colombiana. 23 (2) : 223 – 229 pp. Recuperada de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652005000200005
- Clough, G. (1994). Potato tuber yield, mineral concentration, and quality after calcium fertilisation. Journal of the American Society for Horticultural Science 119 (2) : 175-179 pp. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.2.175>

- Consorte, J. (2001). Fontes e doses de cálcio e nitrogênio na nutrição e produção de batata (*Solanum tuberosum* L.) para indústria. Tesis para optar el grado de doctor. Universidade Estadual Paulista “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”. Sao Paulo - Brasil. 126 pp. Recuperada de https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100048/consorte_je_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Egúsquiza, B. (2014). La papa en el Perú. Segunda edición. Oficina Académica de Extensión y Extensión de la Universidad Nacionl Agraria La Molina. Lima - Perú. 200 pp.
- Emanuelsson, J. (1984). Root growth and calcium uptake in relation to calcium concentration. *Plant and Soil* 78 (3) :325 – 334 pp. <https://doi.org/10.1007/BF02450366>
- Ewing, E. (1995). The role of hormones in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuberization. 698 - 721 pp. En Davies, P. *Plants hormones*. Segunda edición. Kluwer academic publisher. Países Bajos.
- FAO (2014). La FAO y la agenda de desarrollo sostenible. Recuperado de: <http://www.fao.org/>.
- FAO (2018). Statistics division of the food and agriculture organization of the united nations. <Http://faostat.fao.org/>.
- Franke, A.; Haverkort, A. y Steyn, J. (2013) Climate Change and Potato Production in Contrasting South African AgroEcosystems 2. Assessing Risks and Opportunities of Adaptation Strategies. *Potato Research*. 56 (1) :51 – 66 pp. <https://doi.org/10.1007/s11540-013-9229-x>
- Gumede, T. y Kempen, E. (2017a). Effect of different calcium application levels on the quality, growth, development and yield of potato tubers. 30 - 50 pp. En Gumede T. (2017) Influence of calcium on yield and quality aspects of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Disponible en <https://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/101180>

- Gumede, T. y Kempen, E. (2017b). Influence of different calcium application levels on potato plants under low temperature growing conditions. 51 - 68 pp. En Gumede T. (2017) Influence of calcium on yield and quality aspects of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Disponible en <https://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/101180>
- Gumede, T. y Kempen, E. (2017c). Influence of calcium as a foliar application and a soil drench on the growth, yield and quality aspects of potatoes. 69 - 89 pp. En Gumede T. (2017) Influence of calcium on yield and quality aspects of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Disponible en <https://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/101180>
- Hamdi, W.; Helali, L.; Beji, R.; Zhani, K.; Ouertatani, S. y Gharbi, A. (2015). Effects of levels calcium nitrate addition on potatoe fertilizer. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2 (3) : 2006 - 2013 pp. Recuperado de <https://www.irjet.net/archives/V2/i3/Irjet-v2i3323.pdf>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2010). La variación de precios y su impacto sobre los ingresos y el acceso a los alimentos de pequeños productores agrarios en el Perú. MGS Comercial Gráfica. Lima - Perú. 80 pp. Recuperado de <http://repiica.iica.int/docs/B2175e/B2175e.pdf>
- Jackson, S. (1999). Multiple signaling pathways control tuber induction in potato. *Plant Physiol*. 119 (1) : 1 - 8 pp. <https://doi.org/10.1104/pp.119.1.1>
- Jadoski, S.; Maggi, M.; Kawakami, J.; Zandonai, J. y Vieira, D. (2009). Yield and sanity of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) under different levels of basis saturation and calcium in soil. *Pesquisa Aplicada y Agrotecnología*. 2 (2) : 179 - 184 pp. <https://doi.org/10.5777/paet.v2i2.654>
- Jerez, E.; Martín, R. y Morales, D. (2017). Evaluación del crecimiento y composición por tamaño de tubérculos de plantas de papa para semilla. *Cultivos Tropicales*. 38 (4) : 102 - 110 pp. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n4/ctr15417.pdf>
- Karlsson, B.; Crump, P. y Palta, J. (2006) Enhancing tuber calcium by in-season calcium application can reduce incidence of black spot bruise injury in potatoes. *HortScience*. 41 (5): 1213 - 1221 pp. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1213>

- Koda, Y. y Okazawa, Y. (1983). Influence of environmental, hormonal and nutritional factors on potato tuberization in vitro. *Japan journal crop science*. 52 (4) : 582 - 591 pp. Recuperado de https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcs1927/52/4/52_4_582/_pdf/-char/en
- Kratze, M. y Palta, J. (1985). Evidence for the existence of functional roots on potato tubers and stolons: Significance of water transport to the tubers. *American Potato Journal*. 62 (1) :227 – 236 pp. <https://doi.org/10.1007/BF02852802>
- Locascio, S.; Barts, J. y Weingartner, D. (1992). Calcium and potassium fertilization of potatoes. *American Potato Journal*. 69 (1): 95 – 105 pp. <https://doi.org/10.1007/BF02855338>
- Maathius, F. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*. 12 83). 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>
- Medina, A. (2020, 15 de marzo). Efecto de las heladas y granizadas en el rendimiento de papa. Comunicación personal. Lima - Perú.
- Mengel, K. y Kirkby, E. (1987). Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Worblaufen-bern, Switzerland. 687 pp.
- MINAG (Ministerio de Agricultura) (2007). Día Nacional de la Papa, Anunciando el Año Internacional de la Papa 2008. DGPA. Año 1 - Boletín 1. Lima - Perú. 19 pp.
- MIDAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) (2015). Cultivos de importancia nacional: la papa. Revisado el 6 de marzo del 2022 de <https://www.midagri.gob.pe/portal/23-sector-agrario/cultivos-de-importancia-nacional/183-papa>
- MIDAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) (2016). Dirección general de seguimiento y evacuación de políticas - Dirección de estadística agraria. Consultado el 20 de agosto del 2019, de: <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=noticias/dia-del-estadistico-agrario>
- MIDAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). (2019). *Anuario hortofrutícola campaña Agrícola 2018 – 2019*. Revisado el 6 de marzo del 2022 de <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicaciones/datos-estadisticas/anuarios>

- MIDAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). (2021). *El agro en cifras. Boletín estadístico mensual (Diciembre, 2021)*. Revisado el 4 de marzo del 2022 de <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicaciones/datos-estadisticas/mensual>
- Modisane, P. (2007a). Yield and quality of potatoes as affected by calcium nutrition, temperature and humidity. Tesis para optar el grado de doctor. Universidad de Pretoria. Gauteng - Sudáfrica. Recuperada de <https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/28344/dissertation.pdf?sequence=1>
- Modisane P. (2007b). Tuber yield and quality as influenced by application of gypsum as a calcium source. 31 - 44 pp. en Modisane, P. (2007). Yield and quality of potatoes as affected by calcium nutrition, temperature and humidity. Tesis para optar el grado de doctor. Universidad de Pretoria. Gauteng - Sudáfrica. Recuperada de <https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/28344/dissertation.pdf?sequence=1>
- Modisane P. (2007c). Calcium nutrition of potatoes maintained at low and high temperatures at low humidity. 45 - 60 pp. en Modisane, P. (2007). Yield and quality of potatoes as affected by calcium nutrition, temperature and humidity. Tesis para optar el grado de doctor. Universidad de Pretoria. Gauteng - Sudáfrica. Recuperada de <https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/28344/dissertation.pdf?sequence=1>
- Nookaraju, A.; Pandey, S.; Upadhyaya, C.; Heung, J.; Kim, H.; Chun, S.; Kim, D. y Park, S. (2012). Role of Ca^{2+} - mediated signaling in potato tuberization. *Botanical Studies*. 53 (1). 177-189. Recuperado de: <https://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/content/2012/2/Bot532-01.pdf>
- Özgen, S. y Palta, J, (2004). Supplemental calcium application influences potato tuber number and size. *Horticultural Science*. 40 (1) : 102 – 105 pp. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/277751604_Supplemental_Calcium_Application_Influences_Potato_Tuber_Number_and_Size

- Palta, J. (1996). Role of calcium in plant responses to stress: Linking basic research to the solution of practical problems. *Horticultural Science*. 31 (1) : 51 – 57 pp. Recuperado de <https://horticulture.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/20/2014/04/Role-of-Calcium-in-Plant-responses-to-Stresses...3.pdf>
- Palta, J. (2010). Improving potato tuber quality and production by targeted calcium nutrition: the discovery of tuber roots leading to a new concept in potato nutrition. *Potato Research*. 53 (1). 267-275. <https://doi.org/10.1007/s11540-010-9163-0>
- Peña, E. (2017). Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno). Tesis para optar el grado de ingeniero. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú. 170 pp. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2655/Q02-P45-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, E.; Moo, V.; Estrada, R.; Ortiz, A.; May, L.; Ríos, C. & Betancur, D. (2014). Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds. *Carbohydrate polymers* 101 (1): 920 – 927 pp. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.012>
- Pilbeam, D. y Morley, P. (2006). Calcium. en: Barker, A.; Pilbeam, D. (eds.). *Handbook of plant nutrition*. United States of America: Taylor y Francis Group. 121 - 144 pp.
- Salisbury, F. y Ross, C. (1994). *Fisiología Vegetal*. Cuarta edición. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. México. 177 pp.
- Spillman, A. (2003). Calcium-rich potatoes: It's in their genes. Syngenta, Potato Genebank, *Agricultural Research*. 18 – 19 pp. Recuperado de <https://agresearchmag.ars.usda.gov/ar/archive/2003/mar/gene0303.pdf>
- Tekalign, T. y Hammes, P. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae*. 105 (1). 29- 44. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.021>

- Thuleau, P.; Schroeder, J. y Ranjeva, R. (1998). Recent advances in the regulation of plant calcium channels: evidence for regulation by G - proteins, the cytoskeleton and second messenger. *Current Opinion in Plant Biology*. 1 (5) : 424 – 427 pp. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(98\)80267-7](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(98)80267-7)
- USDA. United States Department of Agriculture. (2018). Nutrition fact of potato.
- Van-Delden, A.; Pecio, A. y Haverkort, A. (2000). Temperature response of early foliar expansion of potato and wheat. *Annals of Botany*. 86 (1) : 355 – 369 pp. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1195>
- Vreugdenhil, D.; Bradshaw, J.; Gebhardt, C.; Govers, F.; Mackerron, D.; Taylor, A. y Heather, A. (2007). *Potato biology and biotechnology: advances and perspectives*. Elsevier Science. 856 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51018-1.X5040-4>
- White, P. (2001). The pathways of calcium movement to the xylem. *Journal of Experimental Botany*. 52 (358) : 891 – 899 pp. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.358.891>
- White, P. y Davenport, R. (2002). The voltage- independent cation channel in the plasma membrane of wheat roots is permeable to divalent cations and is involved in cytosolic Ca²⁺ homeostasis. *Plant Physiology*. 130 (1) : 1386 – 1395 pp. Recuperado de <http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/130/3/1386.full.pdf>
- Xu, X.; Van Lammeren, A.; Vermeer, E. y Vreugdenhil, D. (1998). The role of gibberellin, abscisic acid, and sucrose in the regulation of potato tuber formation in vitro. *Plant Physiology*. 117 (1) : 575 - 584 pp. Recuperado de <http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/117/2/575.full.pdf>
- Xu, Y.; Grizzard, C.; Sismour, E.; Bhardwaj, H. y Li, Z. (2013). Resistant starch content, molecular structure and physicochemical properties of starches in Virginia-grown corn, potato and mungbean. *Journal of Cereals and Oil seeds*. 4 (1) : 10 – 18 pp. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/349e/83d1b047c666b44f07af96df6f9125f803a4.pdf>



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : PIERO ANDRE ROUILLON REVOLLEDO

Departamento : PUNO

Distrito :

Referencia : H.R. 68485-069C-19

Provincia : ILLPA
 Predio : E.E. INIA ILLPA
 Fecha : 04/06/19

Fact.: Pendiente

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico		CIC	Cationes Cambiables				Suma de Cationes Bases	% Sat. De Bases				
								Arena %	Limo %		Ca ⁺² mg/100g	Mg ⁺² mg/100g	K ⁺ mg/100g	Na ⁺ + Al ⁺³ + H ⁺ mg/100g						
4573		7.46	0.58	0.20	2.33	37.3	1244	45	24	31	Fr.Ar.	19.36	9.38	6.80	1.92	1.26	0.00	19.36	19.36	100

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



VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de caracterización del suelo experimental en la Estación Experimental Illpa del INIA Puno

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222, Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 2: Datos meteorológicos de la estación experimental Illpa (Puno)

Sem	Octubre (2018)			Noviembre (2018)		
	Temperatura (C°)		Prom Precipitación (pp)	Temperatura (C°)		Prom Precipitación (pp)
	Prom. mín	Prom. máx		Prom. mínima	Prom. máxima	
1	1	18.7	24.1	2.7	19.5	4.1
2	2.8	18.2	4.5	2.7	20.6	0.5
3	2.77	18.4	11.9	2.2	20.9	1.9
4	1.37	19.3	0	1.6	21.1	9.8
5	2.6	19.9	0	0.5	20.6	0
Prom.	2.1	19	40.5	1.9	2.5	16.3

Sem	Diciembre (2018)			Enero (2019)		
	Temperatura (C°)		Prom Precipitación (pp)	Temperatura (C°)		Prom Precipitación (pp)
	Prom mín	Prom máx		Prom mín	Prom máx	
1	-1.9	21	0	2.9	18.3	26.1
2	1	21	4.5	3.6	18.1	11.2
3	3.9	18.4	38.7	5	17	16.5
4	4.7	18.3	17.3	3.6	16.5	7.9
5	5.5	18.1	3	6.3	15.5	19.2
Prom.	2.6	19.4	63.5	4.3	17.1	80.9

Sem	Febrero (2019)			Marzo (2019)		
	Temperatura (C°)		Prom Precipitación (pp)	Temperatura (C°)		Prom Precipitación (pp)
	Prom mín	Prom máx		Prom mín	Prom máx	
1	4.9	15.7	39.2	2.2	17.8	0
2	4.8	16.2	31.9	2.2	18.4	14.6
3	5.1	17.6	31.8	3.5	17.5	25.9
4	2.6	17.9	5.8	1.8	17.5	2.7
5				1.3	16.8	0
Prom	4.4	16.9	108.7	2.2	17.6	43.2

Sem	Abril (2019)		
	Temperatura (C°)		Prom Precipitación (pp)
	Prom mín	Prom máx	
1	1.2	18	21.1
2	-0.2	18.6	0
3	1.8	18.4	12.4
4	1.1	18.7	3.9
5	-2	18.9	0
Prom.	0.4	18.5	37.4

Anexo 3: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's de la altura de plantas en tres fechas del periodo vegetativo

Fuente	GL	Días después de la siembra		
		60	75	90
Bloque	3	6.97 ^{ns}	7.90 ^{ns}	23.87 ^{ns}
Tratamientos	6	10.33 *	9.71 *	26.24 ^{ns}
Error	18	4.55	7.93	
Total	27			

Anexo 4: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Peso seco de hojas (CM₁), Peso seco de tallos (CM₂) y Relación de Pesos Hoja/tallo (CM₃)

Fuentes	GL	Cuadrados medios		
		CM ₁	CM ₂	CM ₃
Bloques	3	6.88 ^{ns}	11.75 ^{ns}	10.45 ^{ns}
Tratamientos	6	32.23 **	43.52 **	3.96 ^{ns}
Error	18	4.87	6.72	11.59
Total	27			

Anexo 5: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Número Total (CM₁), Comercial (CM₂) y No comercial (CM₃) de tubérculos por planta

Fuentes	GL	Cuadrados medios		
		CM ₁	CM ₂	CM ₃
Bloques	3	3.01 ^{ns}	2.41 ^{ns}	2.59 ^{ns}
Tratamientos	6	1.08 ^{ns}	0.86 ^{ns}	0.93 ^{ns}
Error	18	0.92	0.74	0.79
Total	27			

Anexo 6: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Rendimiento Total (CM₁), Comercial (CM₂) y No comercial (CM₃) de tubérculos por planta

Fuentes	GL	Cuadrados medios		
		CM ₁	CM ₂	CM ₃
Bloques	3	10.45 ^{ns}	17.15 ^{ns}	1.12 ^{ns}
Tratamientos	6	3.96 ^{ns}	5.45 ^{ns}	0.37 ^{ns}
Error	18	11.59	12.41	0.93
Total	27			

Anexo 7: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Rendimiento de tubérculos de calibres Primera (CM₁), Segunda (CM₂) y Tercera (CM₃)

Fuentes	GL	Cuadrados medios		
		CM ₁	CM ₂	CM ₃
Bloques	3	0.59 ^{ns}	5.95 ^{ns}	3.86 ^{ns}
Tratamientos	6	1.26 ^{ns}	2.97 ^{ns}	0.61 ^{ns}
Error	18	1.22	5.53	1.83
Total	27			

Anexo 8: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del Rendimiento de tubérculos para chuño (CM₁) y de descarte (CM₂)

Fuentes	GL	Cuadrados medios	
		CM ₁	CM ₂
Bloques	3	0.23 ^{ns}	2.35 ^{ns}
Tratamientos	6	0.88 ^{ns}	0.78 ^{ns}
Error	18	0.36	1.04
Total	27		

Anexo 9: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del porcentaje de materia seca de tubérculos de Imilla negra

Fuente	G.L.	C.M.
Bloque	3	9.75 ^{ns}
Tratamientos	6	38.66 ^{ns}
Error	18	19.90
Total	27	

Anexo 10: Cuadrados medios y significación estadística de los ANVA's del contenido de Nitrógeno (CM₁), Calcio (CM₂), Zinc (CM₃), Hierro (CM₄) y Boro (CM₅) en tubérculos

Fuentes	GL	Cuadrados medios				
		CM ₁	CM ₂	CM ₃	CM ₄	CM ₅
Bloques	3	0.11 ^{ns}	0.00 ^{**}	27.75 ^{**}	60607 ^{**}	18.23 ^{ns}
Tratamientos	6	0.03 ^{ns}	0.00 [*]	2.99 ^{ns}	13517 ^{ns}	8.16 ^{ns}
Error	18	0.04	0.00	5.86	14065	10.28
Total	27					

Anexo 11: Costo de producción (ha) de papa Yana imilla en Illpa (Puno)

Costos	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
I. Costos directos				7050.8
1. Preparación del terreno	Horas máquina ⁻¹	12	60	720
2. Mano de obra				2680
Limpieza del campo	jornal	4	40	160
Siembra	jornal	10	40	400
Fertilización	jornal	12	40	480
Deshierbo	jornal	5	40	200
Aporque	jornal	10	40	400
Control fitosanitario	jornal	6	40	240
Cosecha	jornal	20	40	800
3. insumos				3650.8
semilla de Yana imilla	Kg	1300	1.4	1820
estiércol de ovino	Kg	2000	0.12	240
Urea	Kg	176	1.5	264
fosfato diamónico	Kg	217	1.8	390.6
cloruro de potasio	Kg	133	1.4	186.2
Fipronil	L	1	350	350
Methamidophos + Cypermctrina	L	2	80	160
Procloraz	L	1	100	100
Tebuconazol + mancozeb adherente	Kg	1	80	80
	L	2	30	60
II. Costos indirectos				705.1
Financieros	%	6		423.05
Administrativos	%	4		282.03
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN				7755.9

Anexo 12: Costo de producción (ha) de cada tratamiento

Costos	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
T0 (0 kg.ha⁻¹ de calcio)				
nitrate de amonio	Kg	282	1.4	394.8
Yaraliva NITRABOR	Kg	0	2	0
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (T0)				8150.7
T1 (26 kg.ha⁻¹ de calcio)				
nitrate de amonio	Kg	235	1.4	329
Yaraliva NITRABOR	Kg	100	2	200
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (T1)				8284.9
T2 (52 kg.ha⁻¹ de calcio)				
nitrate de amonio	Kg	188	1.4	263.2
Yaraliva NITRABOR	Kg	200	2	400
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (T2)				8419.1
T3 (78 kg.ha⁻¹ de calcio)				
nitrate de amonio	Kg	140	1.4	196
Yaraliva NITRABOR	Kg	300	2	600
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (T3)				8551.9
T4 (104 kg.ha⁻¹ de calcio)				
nitrate de amonio	Kg	95	1.4	133
Yaraliva NITRABOR	Kg	400	2	800
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (T4)				8688.9
T5 (130 kg.ha⁻¹ de calcio)				
nitrate de amonio	Kg	47	1.4	65.8
Yaraliva NITRABOR	Kg	500	2	1000
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (T5)				8821.7
T6 (156 kg.ha⁻¹ de calcio)				
nitrate de amonio	Kg	0	1.4	0
Yaraliva NITRABOR	Kg	600	2	1200
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (T6)				8955.9

Anexo 13: Precio en chacra de papa Yana imilla en Ilpa (Puno)

Año	Mínimo			Máximo		
	Marzo	Abril	Mayo	Marzo	Abril	Mayo
2016	0.65	0.70	0.65	1.05	0.95	0.90
2017	0.65	0.65	0.65	0.80	0.75	0.76
2018	0.60	0.70	0.65	0.71	0.85	0.85
\bar{X}	0.63	0.68	0.65	0.85	0.85	0.84
		0.65			0.85	