

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
AGROPECUARIA



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN PRODUCTIVA DE DOS VARIEDADES DE PAPA
COMERCIAL (*Solanum tuberosum*) BAJO FERTIRRIEGO CON
SOLUCIONES NUTRITIVAS CONCENTRADAS EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL CHOQUENAIRA**

ALVARO MAMANI ESQUIA

LA PAZ – BOLIVIA

2020

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERIA EN PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
AGROPECUARIO

EVALUACIÓN PRODUCTIVA DE DOS VARIEDADES DE PAPA
COMERCIAL (*Solanum tuberosum*) BAJO FERTIRRIEGO CON
SOLUCIONES NUTRITIVAS CONCENTRADAS EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL CHOQUENAIRA

*Tesis de Grado como requisito parcial para
optar el título de Ingeniero en producción y
comercialización agropecuaria*

ALVARO MAMANI ESQUIA

Tutor (es):

Ing. Rolando Céspedes Paredes

Ing. M. Sc. Carlos López Blanco

Tribunal Revisor:

Ing. Ph. D. José Yakov Arteaga García

Ing. M.Sc. Juan José Vicente Rojas

Ing. William Alex Murillo Oporto

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA

A DIOS por tantas cosas que me ha dado, sobre todo salud y fortaleza para seguir levantándome después de cada caída, gracias mi DIOS por permitirme tener esta profesión tan maravillosa.

*Dedicado con todo mi amor, admiración y respeto a mis queridos padres:
Incarna Esquia Poma y Eugenio Mamani Santos.*

A mis queridos hermanos Víctor Hugo Mamani Esquia, Iván Mamani Esquia, Yesica Mamani Esquia, Abram Mamani Esquia (+) y a mi sobrino Maximiliano Mamani por todo el apoyo que me brindaron siempre para seguir luchando y poder alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi infinito agradecimiento a la Estación Experimental de Choquenaira dependiente de la Facultad de Agronomía – UMSA, por haberme facilitado una superficie para la ejecución de mi trabajo de tesis.

A mis tutores Ing. Rolando Céspedes Paredes por brindarme su amistad el asesoramiento, colaboración con su amplia experiencia profesional y la confianza brindada para que este trabajo se realice de la mejor manera posible; al Ing. M. Sc. Carlos López Blanco por su asesoramiento y colaboración con su experiencia en el área de producción, también por las sugerencias realizadas durante todo el proceso de trabajo de Tesis.

Al tribunal revisor; Ing. Ph D. José Yakov Arteaga García, Ing. M. Sc. Juan José Vicente Rojas y al Ing. William Alex Murillo Oporto por el tiempo dedicado a la revisión del trabajo de investigación, por las correcciones y sugerencias realizadas para que este estudio se hiciera realidad.

Un agradecimiento sincero al director de la estación experimental de Choquenaira y a los todos los docentes investigadores quienes de igual manera siempre me apoyaron y me dieron sus consejos para que mi trabajo de tesis tenga un proceso satisfactorio. A mis amigos compañeros de tesis

Y finalmente un agradecimiento especial a mi amada familia mis padres y hermanos por todo su amor y cariño brindado, por sus consejos y apoyo incondicional.

A mi amigo y compañeros Mamerto Silvestre Villca por todo el apoyo que me brindo en el proceso del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
INDICE DE CUADROS	VII
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE ANEXOS	IX
RESUMEN	X
SUMMARY	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Hipótesis	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Consideraciones generales del cultivo de papa.....	3
2.1.1. Origen	3
2.1.2. Importancia del cultivo de la papa.....	3
2.1.3. Producción de papa en Bolivia.....	4
2.1.4. Producción de papa en el departamento de La Paz	5
2.2. Descripción del cultivo de papa.....	6
2.2.1. Descripción taxonómica	6
2.2.2. Descripción morfológica	6
2.3. Fases fenológicas	7
FUENTE: COMPENDIO AGROPECUARIO (MDRYT 2012)	8

2.3.1. Ciclo vegetativo	8
2.4. Requerimientos del cultivo de la papa	9
2.4.1. Altitud	9
2.4.2. Temperatura.....	9
2.4.3. Fotoperiodo	9
2.4.4. Precipitación.....	10
2.4.5. Suelos	10
2.4.6. Humedad	10
2.5. Riego en el cultivo de papa	11
2.5.1. Déficit hídrico	12
2.5.2. Estrés hídrico	13
2.5.3. Descripción de variedades comerciales de interés	13
2.6. Tipos de cintas de goteo	15
2.6.1. Fertirriego.....	15
2.7. Método de inyección en sistema de riego.....	19
2.7.1. Inyectores Venturi	19
2.8. Eficiencia del Uso de Agua.....	20
2.9. Programación de riego	21
2.9.1. Métodos para programación de riego	21
2.10. Procesos de la evapotranspiración	23
2.10.1. Evapotranspiración	23
2.10.2. Transpiración	23
2.10.3. Coeficiente del cultivo	24
2.11. Precipitación.....	27
2.11.1. Precipitación efectiva	28
2.11.2. Capacidad de campo (CC).....	28
2.11.3. Punto de Marchitez Permanente.....	28
3. LOCALIZACIÓN	29
3.1. Ubicación	29
FIGURA 3: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO (ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE CHOQUENAIRA).	29
3.2. Características climáticas	30

3.3. Condiciones climáticas durante la investigación.....	30
3.3.1. Precipitación (PP) y evapotranspiración de referencia (ET _o).....	30
3.3.1. Temperatura ambiente durante el periodo de cultivo	31
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
4.1. Materiales.....	33
4.1.1. Equipos, herramientas y materiales	33
4.1.2. Insumos	33
4.1.3. Material de gabinete.....	33
4.2. Métodos.....	34
4.2.1. Diagnostico parcelario.....	34
4.2.2. Muestreo y análisis de suelo	34
4.2.3. Limpieza.....	35
4.2.4. Preparación del suelo	35
4.2.5. Adecuación de la parcela experimental	35
4.2.6. Siembra del cultivo de la papa	36
4.2.7. Instalación del sistema de riego	36
4.2.8. Desarrollo de labores culturales.....	37
4.2.8.1. Aporque	37
4.2.9. Riego y fertirrigación de parcelas.....	38
4.3. Variables de respuesta	43
4.3.1. Durante el crecimiento	43
4.3.2. Durante la cosecha	43
4.3.3. Análisis de costos parciales	44
4.3.4. Ingreso bruto (IB)	45
4.3.5. Ingreso neto (IN)	45
4.3.6. Beneficio/costo (B/C)	45
4.4. Análisis estadístico	46
4.8.5. Factores de estudio.....	47
4.8.4. Distribución experimental	47
Fuente: Propia (2019)	47
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
5.1. Análisis de variables agronómicas.....	48
5.1.1. Porcentaje de emergencia	48
5.1.2. Altura de la planta	48
5.1.3. Número de tallos por planta	50
5.1.4. Número de tubérculos por planta	51

5.2. Análisis de productividad	52
5.2.2. Rendimiento productivo en variedades de papa	52
5.2.1. Del rendimiento	54
5.3. Análisis económico parcial	54
5.3.1. Costos de producción	54
5.3.2. Ingreso bruto	54
5.3.3. Ingreso neto	55
6. CONCLUSIONES	56
7. RECOMENDACIONES	57
8. BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	60

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1: Rendimiento de papa a nivel nacional en toneladas (t)	5
CUADRO 2. Fenología del cultivo de la papa	8
CUADRO 3: Análisis de suelo.	34
CUADRO 4: Balance hídrico y programación de riego al cultivo de papa.	38
CUADRO 5. Absorción y extracción de nutrientes por el cultivo.	40
CUADRO 6. Absorción de algunos nutrientes por el cultivo de papa, según autores y diferente nivel de rendimiento.	40
CUADRO 7. Distribución porcentual de nutrientes.	42
CUADRO 8. Descripción de calibres o diámetro de tubérculos de papa.	44
CUADRO 9. Número de tallos por planta a los 50 y 160 días después de la siembra...	50
CUADRO 10. Prueba de t para número de tubérculos de dos variedades de papa.....	51
CUADRO 11: Prueba de t para el peso de tubérculos de dos variedades de papa por categoría (g/planta)	52
CUADRO 12. Análisis de productividad y económico en tratamientos del cultivo de papa.	54

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Ilustración de humidificación del suelo.....	12
FIGURA 2: Cabezal de bombeo – conjunto de equipos y elementos de riego.....	17
FUENTE: Elaboración propia	31
FIGURA 4. Precipitación (pp) y evapotranspiración (eto).....	31
FUENTE: Elaboración propia	32
FIGURA 5: Temperatura ambiente durante el periodo del cultivo de la papa	32
FIGURA 6. Preparación y tendido de cintas de goteo en parcela experimental.....	37
FIGURA 7: Balance hidrico del cultivo de papa.....	38
FIGURA 8: Aporte de nutrientes.....	41
FIGURA 9. Planimetría del área implementada con fertirrigación.....	47
FIGURA 9. Porcentaje de emergencia	48
FIGURA 10. Variación de la altura de plantas en diez fechas de evaluación.....	49
FIGURA 11. Número de tuberculos en las variedades en estudio	51
FIGURA 12. Rendimiento de la variedad waycha he imilla negra.....	53

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de calidad agronómica del suelo parcelario.	61
Anexo 2. Porcentaje de emergencia.	62
Anexo 3. Promedio de altura de planta de papa (cm).	62
Anexo 4. Promedio de número de tubérculos por planta (N° tubérculos/planta).....	62
Anexo 5. Costos de producción.....	63
Anexo 6. Primer y segundo aporque en el cultivo de papa en parcela experimental.	64
Anexo 7. Aplicado de insecticida.....	64
Anexo 8. Medición de altura de la planta.	65
Anexo 9. Variedad imilla negra en floración al 80%.	65
Anexo 10. Madurez fisiológica variedad Waycha.	66
Anexo 11. Muestreo antes de la cosecha variedad Waycha.	66
Anexo 12. Cosecha variedad Imilla Negra.	67
Anexo 13. Después de la cosecha variedad Imilla Negra.	67
Anexo 14. Post cosecha clasificación por tamaño variedad Waycha.	68
Anexo 15. Pesado por tamaño varieda Wayacha en laboratorio.....	68
Anexo 16. Toma de datos por tamaño en laboratorio	69
Anexo 17. Pesado de la papa para el rendimiento total de variedad Imilla Negra.	69
Anexo 18. Pesaje de tubérculos de papa (Evaluación de rendimiento).	70

RESUMEN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), en Bolivia es muy importante y es el principal ingreso económico para las familias. La mayor parte de las superficies cultivadas se encuentran en regiones semiáridas y áridas de Bolivia, en estas zonas se presenta muchos inconvenientes como la baja producción y productividad del cultivo de la papa a causa de los fenómenos naturales, baja fertilidad de los suelos y el ineficiente uso de aguas que no son aprovechadas con nuevas alternativas de aplicación eficiente del agua de riego. En este contexto, se llevó a optar estrategias de riego y fertilización que utilicen menores cantidades de agua, para lo cual se evaluaron dos variedades de papa con un tratamiento con soluciones nutritivas concentradas bajo fertirrigación por el sistema de riego por goteo. El estudio se llevó a cabo en la estación experimental de Choquenaira – Viacha, provincia Ingavi del Departamento de La paz, durante la campaña agrícola 2018 – 2019. El diseño de la investigación fue dos bloques con parcelas divididas con un tratamiento. En ese sentido los agricultores de estas zonas, al no contar con la suficiente y cantidad de agua para el riego, realizan una producción anual a secano, la cual depende de la cantidad de precipitación que cae, misma que oscila entre los 200 a 550mm, no satisfaciendo los requerimientos netos de agua al cultivo, estos factores son desfavorables para una producción adecuada del cultivo de papa, por el hecho de que el rendimiento promedio en Bolivia es muy bajo 5 a 6 tn/ha. Los resultados de rendimiento señalan que las dos variedades de papa en estudio bajo fertirriego fueron. La variedad Imilla negra obtuvo mayor rendimiento (44,00 t/ha), número de tubérculos 24 unidades/planta, a comparación de la otra variedad Waycha con rendimiento 40 t/ha, la fertirrigación permite obtener un rendimiento aceptable en la variedad (Imilla negra). En cuanto al contenido de la humedad del suelo de los tratamientos se mantuvieron en la zona de agua fácilmente aprovechable (AFA) en las plantas durante el periodo del cultivo se observó que si hay diferencias significativas.

En relación del beneficio costo (B/C) los resultados obtenidos de las dos variedades de papa comercial son rentables económicamente, sin embargo la variedad Imilla Negra resulto la más rentable con 2,0 y 1,7 respectivamente.

SUMMARY

Potato cultivation (*Solanum tuberosum*) In Bolivia is very important and is the main economic income for families. Most of the cultivated are found in semi-arid and arid regions of Bolivia, in these areas there are many disadvantages such as: droughts, frosts, scarce rainfall, low fertility of soils and there are few sources of water, which are used through irrigation systems. Surface, flood, which are not very efficient, generating greater water losses, resulting in water scarcity. In addition, added to this the incidence of climate change that indicates a reduction in the availability of water in the soil that is evidence. In that sense, farmers in these areas, not having enough water for irrigation, make an annual dry land production, which depends on the amount of precipitation that falls, which ranges from 200 to 550mm, not satisfying the net water requirements to the crop, these factors are unfavorable for an adequate production of the potato crop, due to the fact that the average yield in Bolivia is very low 5.87t / ha. However, given the lower availability of water for irrigation and greater demand for production, they put agriculture under irrigation in the face of the challenge of producing more with less water, which is why one of the options to use irrigation water more efficiently and increase productivity is the implementation of irrigation strategies such as drip irrigation (fertirrigation) and more efficient irrigation technologies, which contribute to obtaining acceptable crop yields.

In order to contribute to the development of deficit irrigation strategies that use lower amounts of water and increase productivity. The objective of the research work was to evaluate the effect on productivity under nutritional solutions with nutritive solutions at the Choquenaira Experimental Station under the Faculty of Agronomy of the Universidad Mayor de San Andrés, during the 2018-2019 agricultural campaign. The research was performed in an open field on an area of 820 m², where he worked with two sub drip irrigation units.

In the partial cost analysis, it turned out that the two varieties evaluated are economically profitable, however the Black Imilla variety proved to be more profitable with Bs. 2, 0 and 1, 7.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) desde el punto de vista económico, social y cultural en nuestro país es de mayor importancia. Es considerado como el mayor alimento de consumo de regiones urbanas y rurales, especialmente en aquellas zonas altiplánicas y valles, sin embargo su producción y rendimiento va relacionado con distintos factores climáticos algunos controlables y otros no.

En el altiplano norte y otras regiones de Bolivia, el cultivo de la papa se produce bajo condiciones a secano y en algunos casos con riego por superficie y tecnificado en superficies topográficas irregulares, mediante tecnologías tradicionales y mecanizadas, constituyendo el cultivo el sustento diario de los productores. La importancia de este tubérculo se basa en la cultura alimentaria de un 80% de los bolivianos, además de ser el cuarto alimento de mayor consumo en el mundo.

La producción a secano no permite satisfacer la productividad eficiente del cultivo, siendo el riego una labor agronómica de gran importancia para conseguir su desarrollo normal. El recurso hídrico es cada día más escaso, siendo necesario implementar sistemas de riego que optimicen el uso del agua para obtener una mayor productividad.

El problema principal del cultivo de la papa en las zonas del altiplano son los bajos rendimientos, atribuyendo la misma a factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (sequía, heladas, suelos). La baja productividad del tubérculo de papa (5 a 6 t/ha), entre muchos factores se debe a la baja fertilidad de suelos (pobres), reflejándose en las parcelas de los productores.

Para revertir la baja calidad nutritiva del suelo y los bajos rendimientos de papa, se debe partir con su análisis de estado inicial en parcela y los requerimientos del cultivo, obteniendo una dosis de aplicación y fertilización, acompañado de buenas prácticas agronómicas. La existencia de nuevas tecnologías e insumos en el campo agrícola, permiten tener alternativas para el cultivo de papa. El sistema de riego localizado

mediante fertirrigación tiene doble propósito, uso del agua con eficiencia de aplicación, y el suministro de elementos nutritivos (fertilizantes) para el cultivo.

Por lo expuesto, con el presente estudio se evaluó la productividad del cultivo de la papa en las variedades Waycha e imilla negra, aplicando soluciones concentradas de fertilizante químico mediante la fertirrigación en la Estación Experimental Choquenaira, como alternativa de mejora del rendimiento de papa y resiliencia al cambio climático. Para tal efecto, en la presente investigación se planteó los siguientes objetivos;

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Evaluar la productividad de dos variedades de papa comercial, bajo fertirriego con soluciones nutritivas concentradas en la Estación Experimental de Choquenaira.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Evaluación agronomica de las variedades de papa con fertirriego.
- Determinar el rendimiento productivo de las variedades de papa comercial bajo efecto de soluciones concentradas.
- Evaluación económica parcial de producción del estudio de caso, cultivo de papa.

1.2. Hipótesis

Ho: El cultivo de papa en las variedades Waycha he Imilla Negra bajo la aplicación de soluciones nutritivas concentradas con fertirriego tienen el mismo comportamiento de productividad.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Consideraciones generales del cultivo de papa

2.1.1. Origen

La papa (*Solanum tuberosum*), es originaria de la región andina ubicada entre Bolivia y Perú, donde existe una amplia diversidad de especies silvestres y cultivadas, lo que constituye una fuente genética para futuras generaciones. (Canqui & Morales, 2009).

La papa (*Solanum tuberosum*) es un cultivo originario de los Andes, por su alto contenido de carbohidratos la, convierte en una fuente de energía importante. En la actualidad existen diferentes variedades que se cultivan en todo el mundo desde el nivel del mar hasta altitudes que llegan a los 4000 m.s.n.m. Por ser un cultivo de importancia a nivel mundial, las Naciones Unidas declararon el 2008 como Año Internacional de la Papa, así se promovió proyectos encaminados a fortalecer la importancia como alimento de los países en desarrollo, (Muñoz, 2010).

2.1.2. Importancia del cultivo de la papa

Es uno de los cultivos de mayor importancia en Bolivia y en el mundo y es consumida a mayor escala y es la principal fuente de ingresos económicos en las zonas andinas del altiplano y valles, donde forma parte central de una gran riqueza culinaria, ya sea en estado fresco o procesado (Canqui & Morales, 2009).

Según la FAO (2010), las Naciones Unidas han declarado el 2008 como el Año Internacional de la Papa, además menciona que las papas son el tubérculo más importante del mundo siendo una aliada clave de la seguridad alimentaria así como en la lucha contra el hambre y la pobreza.

La papa en Bolivia, es considerada el cultivo andino más importante debido a que es una fuente de ingresos y de seguridad alimenticia y alimentaría para el habitante andino y mundial, ya que la papa puede ser transformado en chuño y tunta (PROINPA, 1998).

Además (MDRyT, 2008, pág. 76) menciona que es un alimento estratégico para la soberanía alimentaria del país, ya que constituye la base de alimentación de un 80% de la población.

2.1.3. Producción de papa en Bolivia

El cultivo de papa en Bolivia refleja diferentes valores en rendimiento, la zona del altiplano es la que tiene mayor producción y superficie cultivada, pero contrariamente presenta los rendimientos más bajos del país (Quispe, 2010).

Los rendimientos de papa en Bolivia son bajos y se encuentran entre 5 a 7 t/ha. Aparte de los factores agronómicos y económicos, la producción está limitada por factores abióticos como heladas, sequía, baja fertilidad en el suelo y factores bióticos como las plagas y enfermedades (Gabriel *et al.*, 2012).

En Bolivia, existen cerca de 200 mil agricultores, casi todos pequeños productores, donde la superficie total cultivada es de 190.828 ha con una producción 1.119.685,93 t con un rendimiento promedio de 5 a 6 t/ha (INE & MDRyT, 2017).

En Bolivia se cultiva en siete departamentos del país menos en Beni y Pando. (SEPA, 2007).

Cuadro 1: Rendimiento de papa a nivel nacional en toneladas (t)

Departamento	Producción (t)	Superficie cultivada	Rendimiento	Prod/habit
La Paz	200,599	34,439	5,825	638
Oruro	32,481	8,555	3,796	209
Potosí	153,309	28,015	5,472	302
Santa cruz	60,511	60,511	7,85	125
Beni	0	0	0	0
Pando	0	0	0	0
Chuquisaca	112,952	112,952	18,517	351
Cochabamba	136,632	136,632	20,053	227
Tarija	64,467	64,467	9,655	446
Total	760,951	760,951	126,943	

Fuente: (Zeballos *et al.*, 2009).

El rendimiento de papa promedio es de 5,98 t/ha, poco ha variado en los últimos 40 años, tal como lo reporta el CIP (Centro Internacional de la Papa), estando entre los más bajos en Latinoamérica y el mundo (Zeballos *et al.*, 2009).

2.1.4. Producción de papa en el departamento de La Paz

La producción de papa en el departamento de La Paz, la superficie cultivada es de 59.795ha con una producción de 348.784,24t llegando a obtener un rendimiento promedio de 5,83t/ha. (INE & MDRyT, 2017).

En Bolivia se constituye en parte primordial de la alimentación de la mayoría de las familias campesinas del Altiplano y Valles. La producción a nivel nacional alcanza 943,17 ton/año, con un rendimiento promedio de 5,34 ton/ha, de los cuales el 81% es producido en el altiplano y los valles, el resto en zonas sub andinas. El departamento de La Paz, alcanza una producción de 219,91 ton/año con un rendimiento promedio de 4,58 ton/ha (INE, 2011).

El rendimiento del cultivo de papa a nivel del Departamento de La Paz alcanza un promedio de 5,8 t/ha. (Zeballos *et al.*, 2009).

La papa es el cultivo más importante de la región en donde los rendimientos son bajos, aproximadamente 5,2 tn/ha. El clima es limitante y anualmente variable por lo que el cultivo de papa es riesgoso debido a las sequias, granizos y heladas. La temperatura media anual es de 7,6 °C y la precipitación media aproximada es de 585 mm. (Hijmans *et al.*, 2003),

2.2. Descripción del cultivo de papa

2.2.1. Descripción taxonómica

La siguiente descripción taxonómica de la papa es señalada por (Villafuente, 2008).

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Sub clase:	<i>Asteridae</i>
Orden:	<i>Solanales</i>
Familia:	<i>Solanaceae</i>
Género:	<i>Solanum</i>
Especie:	<i>S. tuberosum</i>
Sub especies:	<i>S. tuberosum ssp. Andigena</i>

2.2.2. Descripción morfológica

La papa es una planta suculenta, herbácea, dicotiledónea y anual conformada con dos sistemas de tallo: aéreo y subterráneo. (Egusquiza, 2000).

En la parte aéreo presenta varios tallos aéreos, gruesos, carnosos que crecen de 0,5a1m de altura, hojas anchas dispuestas en forma alterna y con folio los pequeños. Pueden presentar flores terminales que dan como resultado frutos en bayas de 1 a 3 cm, de diámetro con gran cantidad de semilla botánica. (Canqui & Morales, 2009)

En la parte subterránea presenta estolón es que posteriormente se convierten en tubérculos de diferentes formas, con ojos profundos o superficiales, piel y pulpa de diferentes colores o combinaciones. La raíz se desarrolla en verticilio, en los nudos del tallo principal, siendo su crecimiento inicial vertical dentro de la capa arable, luego horizontal de 15 a 39cm. (Canqui & Morales, 2009)

2.3. Fases fenológicas

Según Janco (2014) se presentan 4 fases en el desarrollo fisiológico de la planta de papa:

- *Fase de emergencia*, periodo que pasa entre la siembra y emergencia del suelo. La emergencia de la papa inicia a los 30 a 35 días después de la siembra, alcanzando el 100% a los 40 a 45 días. En esta fase existe desarrollo radicular (raicillas), así como tallos cortos desde el tubérculo- semilla que salen a la superficie del suelo.
- *Fase de desarrollo y crecimiento vegetativo*, periodo entre la emergencia e iniciación de tuberización de estolones. En esta etapa o fase hay crecimiento de tallos, desarrollo foliar y una total cobertura al suelo. Esta etapa ocurre a los 20 a 50 días.
- *Fase de tuberización y floración*, se inicia a los 70 a 75 días después de la siembra. La floración es señal de que la planta de papa inicia la tuberización hasta el final de floración o hasta el máximo desarrollo del follaje. En esta etapa hay aumento en el tamaño y peso de tubérculos, debido a la alta acumulación de carbohidratos. Esta fase es crítica, es importante una buena luminosidad, humedad y disponibilidad de nutrientes en el suelo, ya que determina el rendimiento y calidad del producto.

La floración ocurre normalmente a los 50 a 60 días después de la siembra. El final de floración se presenta a los 90 a 100 días de la siembra.

- *Fase de madurez fisiológica*, periodo entre el máximo desarrollo del follaje y la senescencia total. Se observa a los 140 a 145 días después de la siembra. En esta fase sigue existiendo el desarrollo de los tubérculos aun después que el follaje comienza a amarillear, alcanzando el máximo rendimiento en cada planta cuando aproximadamente un 50% de su follaje se encuentra seco.

Cuadro 2. Fenología del cultivo de la papa

Etapa	Características	Tiempo
Dormancia o reposo de semilla	Periodo que transcurre entre cosecha y brotación	2-3 meses
Brotación	Comienzan a emerger las yemas de los tubérculos Los brotes emergen en el campo cuando tienen condiciones adecuadas de temperatura y de humedad	2-3 meses
Emergencia		10-12 días de plantado
Desarrollo del tallo	Crecimiento del follaje y raíces simultáneamente	Dura 20-30 días
Tuberización y floración	La flor es señal de la formación de estolones y que inicia la tuberización	Variedades precoces 30 días después de la siembra Intermedias 30 a 45 días Tardías 150 a 180 días Esta etapa dura aproximadamente 30 días Variedades precoces a 75 días
Desarrollo de los tubérculos	En esta etapa los tubérculos pueden cosecharse y almacenarse	Intermedios a los 90 días Variedades tardías a los 180 días

Fuente: compendio agropecuario (MDRyT 2012)

En zonas bajas templadas y calurosas el ciclo vegetativo de la papa es aproximadamente 90 días, mientras que en zonas altas y frías oscila entre 120 a 180 días dependiendo de la variedad cultivada.

2.3.1. Ciclo vegetativo

El ciclo vegetativo del cultivo de la papa puede tener una duración de 3 a 7 meses dependiendo de la variedad, de las condiciones climáticas y manejo agronómico. (Martínez, Calatrava, & Martín, 2009)

El periodo vegetativo de la papa puede variar según las variedades, 90 días en variedades precoces y 180 días para variedades tardías (Canqui & Morales, 2009).

2.4. Requerimientos del cultivo de la papa

2.4.1. Altitud

El cultivo de papa tiene un amplio rango de desarrollo que va desde los 400 hasta los 4500 m.s.n.m.; la altitud ideal para un buen desarrollo se encuentra desde los 1500 a 2500 m.s.n.m. bajo estas condiciones se da la mejor producción de la papa. (Blanco y Leiva, 2010).

2.4.2. Temperatura

Las temperaturas más favorables para el desarrollo de la planta y producción; están de 15 a 20°C para el crecimiento de las plantas y de 14 a 18°C para la tuberización, mientras que la temperatura óptima para un mejor producción deben de estar entre 15 – 18°C (Canqui & Morales, 2009)

La papa es considerada como una planta termo periódica, lo que significa que es necesario una variación, entre la temperatura máxima y mínima, de por lo menos 10°C. Si la diferencia es menor, el crecimiento y tuberización se ven afectados. Cuando esta situación se presenta con frecuencia, a lo largo del ciclo vegetativo, el rendimiento y la calidad son afectados, pues las temperaturas máximas son ideales para el crecimiento de tallos y hojas, pero no para la tuberización de los tubérculos. Centro nacional de tecnología agropecuario y forestal (CENTA, 2002).

2.4.3. Fotoperiodo

Con respecto a la respuesta de la longitud del día o fotoperiodo, indican que para desarrollar su área foliar (follaje) requiere de fotoperiodo largo (más de 14 horas luz) y en su proceso de tuberización (formación y engrosamiento de los tubérculos), de

fotoperiodo corto (menor de 14 horas luz). El cultivo de papa se comporta mejor con fotoperiodos entre 8 a 12 horas luz por día (CENTA, 2002).

2.4.4. Precipitación

Un cultivo de papa requiere en promedio de 600 a 800 mm de agua dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración del periodo vegetativo, en tanto (Jeres y Simpefendorfer, 2000), manifiesta que las necesidades de agua de la papa varían de 600 a 700 mm.

Precipitaciones de 40 mm cada 15 días será de gran beneficio al cultivo e inferiores a 10 mm no son efectivas para el cultivo, ya que estas quedan en las hojas del cultivo y se evaporan (Hanvertort, 1986).

La producción se reduce, si se agota más del 50% del total del agua disponible en el suelo durante el periodo de crecimiento, la etapa más crítica que perjudica al cultivo es durante la formación de tubérculos. (FAO, 2008)

2.4.5. Suelos

La papa puede crecer y desarrollarse en la mayoría de los suelos, aunque son recomendables suelos con poca resistencia al crecimiento de los tubérculos. Los mejores suelos que prefiere el cultivo son de textura franco, franco-arenoso, de estructura granular, bien drenados, profundos, fértiles, con buen contenido de materia orgánica y pH de ligeramente ácido a neutro entre 5,5 a 7 con un óptimo de 6,5. (Canqui & Morales, 2009)

El cultivo de papa debe contar con un suelo de textura liviana (franco arenoso) con una profundidad efectiva mayor de los 50cm, que permitan el libre crecimiento de los estolones y tubérculos de la planta (CENTA, 2002),

2.4.6. Humedad

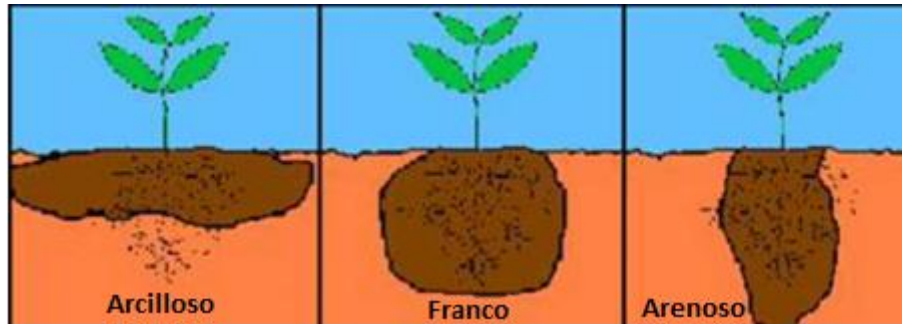
El cultivo de papa crece mejor cuando la humedad del suelo se mantiene cerca a la capacidad de campo (CC); para obtener altos rendimientos (Montalvo, 1984).

Se ha observado que la escasez de agua disminuye el rendimiento, afectando la calidad, debido a la malformación de los tubérculos y al menor crecimiento de las plantas. (Cullen & Wilson, 1971)

2.5. Riego en el cultivo de papa

El riego por goteo es el suministro de agua constante y uniforme, gota a gota que permite mantener el agua de la zona radicular en condiciones de baja tensión, (Lecaros, 2011). Sus principales características son: emisión de pequeños caudales, baja presión, localización del agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de emisores. Al reducir el volumen de suelo mojado, y por tanto su capacidad de almacenamiento, se debe operar con alta frecuencia de aplicación a dosis pequeñas. Los caudales típicos de los emisores son de 0,6 a 16 l/h y los emisores más utilizados son de 1 a 4 l/h.

En riego por goteo, los emisores crean diferentes formas de bulbos húmedos. La textura del suelo determina la distribución vertical y horizontal del agua. En suelos de textura gruesa el agua tiende a extenderse más verticalmente, mientras que en suelos de textura fina, se extiende en forma lateral, lo que da como resultado un mayor radio de la zona humedecida, conforme la ilustración de (Michi 2009 Fig. 2)



Fuente: Propia (2019).

Figura 1. Ilustración de humidificación del suelo

Durante el ciclo de cultivo de papa exige abundante agua, especialmente durante la floración (inicio de tuberización) y la formación de los tubérculos (periodo final de llenado de los tubérculos) que se reconocen dos momentos críticos la falta de agua. Es necesario facilitar riego al cultivo, proveyendo el agua a la planta en forma racional y no regar ni en forma excesiva o insuficiente. Los riegos siguientes se hacen cada 12 a 15 días hasta floración, luego de la floración, los riegos deben aplicarse cada 8 a 10 días por requerir el cultivo más agua para producir una cosecha, ya que el agua es destinada por la planta en su mayor parte a los tubérculos. (Quispe, 2000, pág. 80)

2.5.1. Déficit hídrico

El déficit hídrico se presenta cuando las raíces son incapaces de absorber nutrientes del suelo, por lo que no existe agua disponible para ser transportada hacia el dosel de la planta y luego a la atmosfera, por lo tanto ocurre un desbalance en la planta. Este déficit puede ser ocasionado por diferentes razones según (Nielsen & Orcutt, 1996) puede ser el resultado de bajas precipitaciones, baja capacidad de retención de agua del suelo, excesiva salinidad, temperaturas extremas, baja presión de vapor atmosférica o una combinación de estos factores.

Según Grosso (2000), el periodo del cultivo de papa más sensible al déficit hídrico se presenta entre el inicio de la estolonización y formación de tubérculos, hasta el desarrollo de la cosecha, los periodos menos sensibles a su vez, corresponden a aquellos de maduración y a su fase inicial.

2.5.2. Estrés hídrico

El estrés hídrico que experimentan las plantas se presenta cuando existe una insuficiencia de agua, se produce debido a las condiciones ambientales ya que estas pueden ocasionar que la captación y el transporte de agua en la planta, sean insuficientes para equilibrarse con las pérdidas por transpiración, cuando este desbalance es severo la planta detiene su crecimiento vegetativo y reproductivo, y ocasiona el engrosamiento y la abscisión de las hojas. Las plantas experimentan estrés hídrico ya sea cuando el suministro de agua a sus raíces es limitado o cuando la tasa de transpiración es intensa. El estrés hídrico es causado principalmente por el déficit de agua, es decir, sequía o alta salinidad del suelo. La sequía no solo afecta a las relaciones hídricas de las plantas a través de la reducción del contenido de agua, tal urgencia y total de agua, sino que también afecta el cierre de esto más, limita el intercambio gaseoso, disminuye la transpiración y detiene la tasa de asimilación de carbono (fotosíntesis). Los efectos negativos sobre la nutrición mineral (absorción y el transporte de nutrientes) y el metabolismo conduce a una disminución en el área foliar y la alteración en el reparto de nutrientes entre los órganos. (Lisar *et al.*, 2012).

2.5.3. Descripción de variedades comerciales de interés

Variedad Waycha

La Variedad Waycha es del grupo (*Solanum tuberosum*), pertenece a las variedades denominadas como “nativas comerciales”, las especies de este grupo posee un gran número de variedades, con un amplio rango de variación adaptativa desde los valles meso térmicos 1.800m.s.n.m. Hasta los altiplanos y la puna 3.400 msnm. Su periodo vegetativo varía de 5 a 7 meses, puede presentar tubérculos con formas y tamaños muy variados, con ojos ligeramente profundos y con alto contenido de almidón (PROINPA, 2009).

Es muy productivo, con una rusticidad moderada y es una variedad muy aceptada en el mercado local. (Quispe, 2000)

Esta variedad se caracteriza porque tiene un hábito de crecimiento semi-erecto, tallo de color verde con poca pigmentación, color de floración rojo morado, fruto baya globosa de color verde, tubérculo redondo con ojos profundos, la piel roja con áreas amarillas alrededor de los ojos, madurez tardía de 110–170 días. (INIAF-MDRyT, 2016).

Variedad Imilla Negra

La variedad Imilla Negra tiene un buen hábito de crecimiento semi erecto, es de ciclo vegetativo tardío de 150 a 180 días, es resistente al nematodo “Rosario” (*Nacobbus avenrans*), es susceptible al tizón tardío, tolerante a heladas y sequias, tiene un rendimiento de 15 a 20 t/ha, el color de la flor es azul morado con rojo morado, el tubérculo es redonda con ojos profundos, su color de piel es morado con áreas de color blanco alrededor de los ojos, pulpa de color crema, calidad culinaria buena, contenido de glicoalcaloides bajo (no amarga) (PROINPA, 1998).

La variedad es *Solanum tuberosum ssp. Andigena*, el color de la flor es azul morado con jaspes, el tubérculo es redondo con ojos profundos, el color de su piel es negro, y de color blanco en la pulpa. Tiene un hábito de crecimiento semi erecto su ciclo vegetativo es tardío de 150 a 180 días y se desarrolla entre 3500 a 4000 m.s.n.m. (IBTA, 1994)

La variedad Imilla Negra en una planta de crecimiento alto, de tallos vigorosos característicos por mantenerse erguidos, flor de color azul morado, numerosa y abundante fructificación, tubérculos redondeados con ojos profundos, piel marrón pigmentado morado más intensos en áreas irregulares alrededor de los ojos, pulpa blanca de color marfil, brotes morado oscuro, buena calidad culinaria, se siembra a 300 m.s.n.m. (Egusquiza, 2000).

2.6. Tipos de cintas de goteo

En el presente trabajo se utilizó cintas de goteo auto comenzantes las cuales son, una tubería integral de paredes delgadas con orificios en la misma cinta o goteros termo soldados en su interior (Cisneros, 2003),

Autocompensantes.- Son goteros que mantienen el caudal más o menos constante, aunque varíe la presión de entrada, dentro de un determinado rango de presión, al que se denomina intervalo de compensación. Son indicados para lugares donde hay grandes diferencias de presión debidas a desniveles topográficos (ejm. tierras de laderas) o cuando existen a lo largo de la tubería lateral grandes pérdidas de carga.

Normales o estándar.- Son goteros que cuanto mayor sea la presión existente más caudal de agua arrojan. Este tipo de goteros a su vez pueden ser de conducto largo, laberinto, orificio.

2.6.1. Fertirriego

El Fertirriego es la aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos por los sistemas de riego presurizados, creando un agua enriquecida con nutrientes. (Sánchez, 2000).

Esta es una moderna técnica agrícola que provee la excelente oportunidad de maximizarlos rendimientos y a la vez reducir la polución ambiental, “al incrementar la eficiencia de uso de los fertilizantes, minimizar la aplicación de éstos y aumentar los beneficios económicos de la inversión en fertilizantes. En la fertirrigación, el momento, las cantidades y la concentración de los fertilizantes aplicados son fácilmente controlados” (Melgar, 2012).

La fertirrigación consiste en proporcionar a la planta el fertilizante disuelto en el agua de riego, distribuyéndolo uniformemente para que, prácticamente, cada gota de agua contenga la misma cantidad de fertilizante. (Bello, 2000).

Fertilizantes usados en fertirrigación

Para utilizar un fertilizante a través del sistema de riego es necesario conocer la composición de los productos y la solubilidad de cada uno de ellos. Según la Asociación Internacional de la Industria de los fertilizantes (IFA 2002) se utilizan los siguientes fertilizantes.

Nitrato de calcio Ca (NÜ₃)₂; [15,5 - 0 - 0]

Este fertilizante prácticamente ha sido abandonado en los programas de fertilización tradicional, debido al alto costo del nitrógeno. Este producto es utilizado en fertirrigación por su aporte de calcio.

Nitrato de potasio (salitre potásico) (KNO₃); [15 - 0 - 14]

El salitre potásico posee un 15% de nitrógeno y un 14% de potasa. Este fertilizante no se disuelve completamente, dejando impurezas no solubles en el fondo del recipiente. Los fertilizantes aplicados en el agua de riego se aprovechan con mayor eficiencia, puesto que las raíces no requieren un desarrollo más allá de la zona de humedecimiento y aprovechan al máximo los nutrientes que se apliquen a través del agua de riego. (Holzapfel *et al.*, 2001).

Urea (CÜ (NH₂)₂); [46 - 0 - 0]

La urea se comercializa como fertilizante granulado con un 46% de nitrógeno, es de alta solubilidad y fácil de manejar, lo que la hace un producto muy utilizado en fertirrigación. No saliniza el agua por lo que resulta apropiado en el caso de aguas y suelos salinos.

Ácido fosfórico (H₃PO₄); [0 - 51 - 0] verde; [0 - 54 - 0] blanco

El H₃PO₄ contiene entre un 51 y 54% de P₂O₅. El ácido fosfórico blanco es utilizado preferentemente en la preparación de soluciones nutritivas para sistemas de riego localizado, pero su uso se ve limitado por su disponibilidad y precios.

Fosfato di amónico ((NH₄)₂HPO₄); [16 - 48 - 0]

Este fertilizante contiene una alta concentración de nitrógeno y P₂O₅, tiene una reacción ligeramente alcalina, por lo tanto es necesario adicionar ácido nítrico para bajar el PH. La dosis adecuada es de 0,9 litros de ácido por kilo de fosfato di amónico.

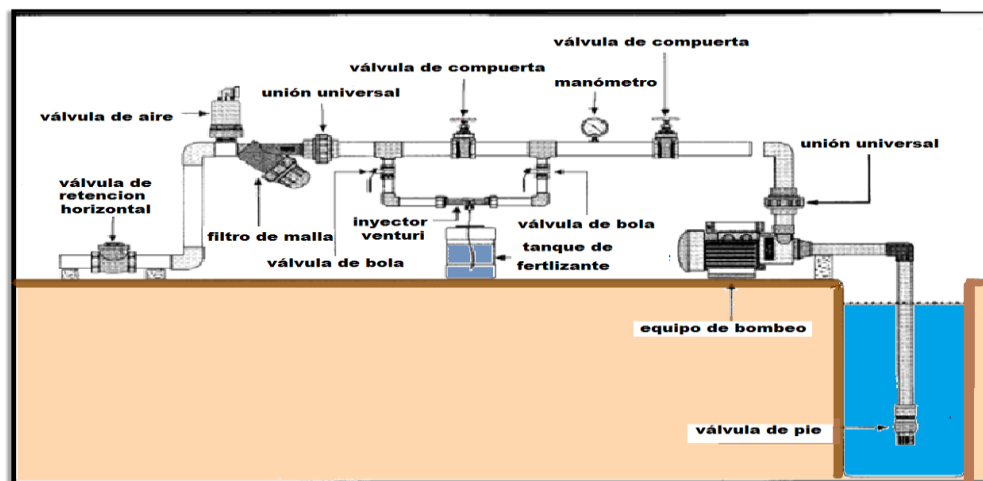
Nitrato de potasio (KNO₃); [13 - 0 - 44]

El nitrato de potasio es de alto costo pero otorga beneficios al agricultor por ser un producto que contiene nitrógeno y potasio en forma simultánea. Esta es la segunda fuente de potasio en importancia después del cloruro de potasio; es muy utilizado por no tener iones cloruro.

Sulfato de potasio (K₂SO₄); [0 - 0 - 50]

El sulfato de potasio es una fuente en potasio y azufre, no es un producto popular en fertilización debido a su relativa baja de solubilidad en comparación al cloruro de potasio y nitrato de potasio.

Existen diferentes tipos de inyección de fertilizantes, el más común es el inyector de tipo Venturi. Ésta es una unidad que hace uso del principio de succión de Venturi al emplear la presión inducida por el flujo de agua para chupar la solución fertilizante del tanque hacia la línea de riego. (KafkafiyTarchitzky, 2012).



Fuente: Reckmann *et al.* (S.F).

Figura 2: Cabezal de bombeo – conjunto de equipos y elementos de riego.

2.6.1.1. Ventajas

La página web del programa para fertilización de cultivos (SMART) indica las siguientes ventajas:

Mediante este método el fertilizante es aplicado directamente en las zonas de absorción de las raíces, lo que lo convierte en uno de los más eficaces.

También se puede corregir de manera rápida cualquier requerimiento de nutrientes en el cultivo.

Otra de las ventajas de la fertirrigación es que le permite al productor controlar el ritmo de crecimiento de la planta, administrando a su conveniencia el nivel de los sistemas de riego y la cantidad de fertilizante.

Por otro lado, la fertirrigación permite al productor el ahorro de tiempo y mano de obra, además de que la aplicación del fertilizante es más precisa y de manera más uniforme, así como una mejor absorción de la planta.

Reduce las pérdidas de fertilizantes por percolación, si y solo si se tienen buen manejo en la aplicación de cantidades adecuadas de agua.

2.6.1.2. Desventajas

Las desventajas son las siguientes: Si no hay un buen reparto del agua no hay, lógicamente, una buena distribución de los fertilizantes. En los riegos presurizados se precisa un adecuado coeficiente de uniformidad de la instalación, al ser la nutrición de cada planta proporcional a la cantidad de agua que recibe, es necesario el uso de fertilizantes solubles (Cañamero y Laguna, 2012),

Es necesaria la preparación técnica del personal, pues la fertirrigación puede conducir a fracasos sino es bien realizada y controlada.

Se necesita una inversión elevada debida a la cantidad importante de emisores, tuberías, equipamientos especiales en el cabezal de riego y la casi necesidad de un sistema de control automatizado (electroválvulas). El alto riesgo de obturación (clogging) en inglés de los emisores, y el consiguiente efecto sobre la uniformidad del riego. Esto puede ser considerado como el problema principal en riego localizado. Al haber la presencia de altas concentraciones de sales alrededor de las zonas regadas, es imperativo contar con un sistema adicional de lavado de sales. Sistema fijo. El sistema se diseña para una condición específica, por lo que no se puede trasladar.

Es necesario tener una inversión inicial, para la compra de equipos de fertirriego, fertilizantes solubles.

2.7. Método de inyección en sistema de riego

2.7.1. Inyectores Venturi

Su funcionamiento se basa en el efecto Venturi, que consiste en producir un estrechamiento en el flujo principal del agua para causar una depresión. Ésta resulta suficiente para succionar la solución química desde un depósito abierto hasta dicho flujo. El Venturi se instala en un by-pass del circuito principal para poder regular el caudal succionado. (CREA, 2005)

2.7.1.1. Ventajas

- Es un sistema simple y de fácil manejo.
- Es fácil de instalar, no tiene partes móviles y es particularmente conveniente para parcelas pequeñas o en caso de no disponer de energía eléctrica.

2.7.1.2. Inconvenientes

- Para que funcione el sistema se ha de producir una pérdida de carga.
- Aunque se puede modificar el flujo en el Venturi por medio de válvulas, el caudal inyectado es muy sensible a la variación de presión en el sistema.

2.8. Eficiencia del Uso de Agua

La eficiencia del uso del agua EUA o WUE (por su sigla en inglés, Water Use Efficiency) se refiere a la cantidad de agua requerida para producir 1 kilogramo de materia seca de producto (rendimiento) (Pino, 2016)

Sin embargo, EUA no siempre está bien correlacionado con rendimiento. (Tuberosa, 2012).

En papa, la EUA se ha reportado frecuentemente como el rendimiento de tubérculos obtenido por unidad de agua consumida; ya sea, como agua aplicada en m^3 , o como unidad de agua transpirada. (Camargo, Montoya, Ortega, & Corcoles, 2015, pág. 131)

EUA también puede ser referida como rendimiento en base a transpiración (Transpiración/Eficiencia de Transpiración) o a evapotranspiración (ET), a nivel de hoja o de cultivo y en base a intercambio gaseoso. (Camargo, Montoya, Ortega, & Corcoles, 2015)

La disponibilidad de agua en el suelo depende de los ingresos (lluvia, nieve, corrientes subterráneas, riego), de la capacidad de almacenamiento del suelo (proporción de elementos grueso, potencia y porosidad del suelo) y de la densidad y profundidad del sistema radicular de la planta, que determina el volumen de suelo utilizado respecto del total. Así, la extensión del sistema radicular es un factor determinante de la disponibilidad real de agua, es decir el depósito de reserva. (Medrano, y otros, 2007, pág. 63).

La importancia del uso eficiente del agua (UEA) obviamente varía de región en región, y de época en época, geográficamente, por ejemplo, la disponibilidad del agua condiciona la manera en que evolucionan los patrones de uso. En igualdad de condiciones, las regiones áridas y semiáridas requieren una mayor cantidad de agua que las regiones húmedas. Las condiciones económicas muchas veces aumentan o reducen la eficiencia en el uso del recurso. (Aranda, 2000).

2.9. Programación de riego

La programación de riego es un conjunto de procedimientos técnicos desarrollados para predecir cuándo y cuánto riego aplicar para cubrir las necesidades de los cultivos, sin afectar los rendimientos (Fernández, *et al.*, 2012).

También los mismos autores indican que la programación del riego se puede realizar a partir de medidas del contenido de agua en el suelo, medidas del estado hídrico de la planta o partir de datos climáticos.

Las medidas mencionadas pueden ser combinatorias (suelo-planta-atmosfera), para una correcta programación de riego (García, 2008).

2.9.1. Métodos para programación de riego

Siguiendo esta tendencia se han desarrollado distintos métodos para programar los riegos, los cuales pueden agruparse en tres categorías: parámetros climáticos, medidas de humedad del suelo y medidas de estrés hídrico de las plantas. (FAO, 2008)

2.9.1.1. Programación de riego en base a estado hídrico de suelo

La medida del contenido de humedad en el suelo, se puede emplearse en la programación de riego utilizando distintos métodos directos e indirectos. (Cadahia, 2005).

El método directo por excelencia es el método gravimétrico, que en general es el más usado, por ser uno de los más exactos sin embargo, es destructivo, laborioso y no permite registrar datos en tiempo real. Este método consiste en sacar muestras de suelo para luego pesarlas y secarlas en una mufla a 105 a 110°C por 48 horas y posteriormente volverlas a pesar para calibrar los métodos indirectos manifiesta que se utiliza el método gravimétrico para cotejar y luego calibrar (Gardner, 2006);

En los últimos años y en la actualidad se está dando el uso de sensores electromagnéticos (TDR, FDRy sondas-C), resistividad (WatermarkR), sondas de neutrones, tensiómetros han aumentado considerablemente el uso de estos métodos indirectos en la comunidad científica como en el sector agrícola. Estos sensores presentan enormes ventajas con respecto al método gravimétrico tradicional, que por ejemplo que muchos de ellos permiten manejar el riego de manera automática, ya que se pueden conectar a un PC, desde el cual, con el software correspondiente, se visualiza y analiza fácilmente la tendencia del contenido de agua del suelo y se registran datos en tiempo real que ayudan a decidir cuándo y cuánto regar (Bonet, *et al.*, 2010).

A la hora de elegir cualquiera de estos métodos se debe tener en cuenta la textura, estructura y contenido de materia orgánica del suelo, distribución y densidad relativa de las raíces en el perfil del suelo, tipo de cultivo y método de riego, entre otros factores. (Ortuño, *et al.*, 2010).

2.9.1.2. Programación de riego en base a estado hídrico del cultivo

Al respecto indica que son muy útiles al momento de realizar la programación de los riegos sin embargo no son adecuados para determinar la cantidad de agua que hay que aportar al cultivo, es por ello que se han propuesto distintos tipos de medidas; como menciona con el fin de caracterizar el estado hídrico de la planta con el fin de tomar decisiones relativas para el manejo del riego (Martínez, Calatrava, & Martín, 2009).

Para determinar el estado hídrico del cultivo describen que los métodos utilizados miden directamente las pérdidas de agua de un fragmento o de la planta entera o de un grupo de plantas, como también miden características relevantes del cultivo que facilitan la estimación de la transpiración (Fernández, *et al.*, 2001).

Menciona los métodos para la determinación del estado hídrico del cultivo son estipulados mediante la temperatura de la cubierta vegetal, mediante la conductancia estomática, flujo de savia, cavitación y dendrometría (García, 2008).

2.10. Procesos de la evapotranspiración

2.10.1. Evapotranspiración

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada para la evaporación también se le conoce como el agua evaporada por la superficie de las hojas de las plantas. (Allen *et al.*, 2006).

La evaporación es un proceso físico en el cual el agua en estado líquido o sólido pasa a vapor, se produce desde superficie del suelo, vegetación, superficie de agua. (Ríos, lagos, etc).

2.10.2. Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. (Allen *et al.*, 2006).

La transpiración es un proceso biológico por el cual las plantas pierden agua a la atmósfera (Bidegain, 2017),

2.10.3. Coeficiente del cultivo

El valor del coeficiente del cultivo depende de las características de la planta y su fase de desarrollo, y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo durante su periodo vegetativo. Esta variación es más evidente en cultivos anuales, que cubren todo su ciclo en un periodo reducido de tiempo.

En los cultivos anuales hay que distinguir cuatro etapas en su periodo vegetativo (FAO, 2008)

Los estados de desarrollo del cultivo de papa fases fenológicas según Sierra *et al.*, 2002) son las que se mencionan a continuación.

Primera etapa: etapa inicial o de establecimiento del cultivo, el estado de plantación a emergencia dura entre 15 a 30 días, dependiendo de la variedad de papa, humedad, temperatura del suelo, el grado de brotación de los tubérculos. Se debe realizar control de malezas y favorecer rápida emergencia de los tallos. Porque son menos susceptibles a rizoctonia cuando se ha formado tejido verte, se recomienda sembrar con suelo húmedo adecuada, para evitar proliferación de hongos.

Segunda etapa: etapa de desarrollo del cultivo o de rápido desarrollo del cultivo, abarca desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa. (Inicio de floración).

Tercera etapa: etapa de mediados del periodo o de máxima evapotranspiración, abarca desde la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez fisiológica del cultivo, que se manifiesta por el envejecimiento, Amarillamiento o senescencia de las hojas. Esta etapa representa la más larga para cultivos anuales. Después de terminado el proceso de tuberización se inicia el llenado de tubérculos, esto ocurre continuamente en el tiempo, por lo tanto, en este estado se debe proveer todas las condiciones para lograr el óptimo crecimiento de los tubérculos. Particular

importancia cobra el adecuado suministro de agua, nitrógeno y potasio. La mayor parte de todos los nutrientes absorbidos ocurre en esta etapa.

Cuarta etapa: Este periodo se inicia con las senescencias de tallos y hojas, este proceso es lento pero sostenido en el tiempo. En muchas variedades este proceso culmina con la caída de las plantas. Sin embargo, después de la caída, el tejido aéreo puede mantenerse parcialmente verde y activo. Una madurez definitiva de los tubérculos se logra cuando gran parte de tallos y hojas están secos y los tubérculos presenten piel firme.

Requerimientos del cultivo de la papa

El cultivo requiere de 16 elementos nutritivos esenciales, pero se hablara solamente de los principales, razón del trabajo de investigación.

➤ Nitrógeno

Este elemento esencial primario forma parte de las estructuras proteicas en la planta y se considera un elemento estructural que estimula el crecimiento especialmente hojas y tallos. El déficit de nitrógeno produce una clorosis o amarillez de las hojas debido a la translocación del elemento hacia la parte superior de la planta por ser este un nutriente móvil dentro de la planta. El exceso de Nitrógeno produce una coloración verde intensa de las plantas y un tono brillante y verde muy oscuro determinando un retraso de la madurez del cultivo. Por el contrario una deficiencia tiende a producir un adelantamiento de la madurez del cultivo. El exceso de Nitrógeno produce diversos efectos negativos sobre el desarrollo del cultivo, lo hace más susceptible a enfermedades como el oídio, además los tubérculos producidos con exceso de Nitrógeno se pudren más fácilmente en las bodegas y toleran menos al maltrato, (Wasterman y Davis, 1992). En suelos arenosos y arcillosos, la distribución de nitratos es similar a la del agua (Bar-Josef y Sheikolslami, 1976).

Las necesidades de N de un cultivo de papas requieren un cuidadoso manejo. Un

elevado suministro de N durante el periodo inicial de crecimiento demora la formación de tubérculos y deriva el crecimiento a las partes aéreas vegetativas. La mejor decisión sobre la conveniencia de aplicar N durante la estación de crecimiento se realiza sobre la base de un análisis de tejido. El análisis del peciolo es una herramienta efectiva para manejar los requerimientos de N de la papa, en especial para realizar ajustes con aplicaciones suplementarias a través de la fertirrigación. Los valores de $N-NO_3^-$ del peciolo en papa deberían mantenerse en las 25000 ppm hasta la iniciación de los tubérculos, y en el rango de 13000 a 15000 ppm durante su período de engrosado, (Shang, 1996).

➤ Fósforo

El fósforo es un elemento primario esencial que es determinante del crecimiento inicial de los tejidos vegetales especialmente de las raíces. Es absorbido desde la solución suelo como $H_2PO_4^-$ o HPO_4^{2-} según el PH del suelo, especialmente por difusión y contacto directo. Se requiere en cantidades muy inferiores al Nitrógeno. Su déficit produce plantas pequeñas de color violáceo o amoratado por efecto de la acumulación de antocininas, debido a la detención del crecimiento celular, (Marschner, 1986). Una elevada concentración de fósforo en el suelo durante el estado inicial estimula el aumento de tubérculos al inicio, (Jenkins y Ali, 2000). La planta absorbe P durante todo el período de crecimiento de los tubérculos, desde los días 35 a 95, a una tasa constante diaria de 51 mg de P por planta, (Carpenter, 1957). El movimiento del fósforo está restringido a una distancia aproximada de 11 cm y 6 cm de suelos arenosos y arcillosos respectivamente desde el emisor reportado por (Bar-Josef y Sheikolslami, 1976). Igualmente estos mismos autores manifiestan que la fertirrigación con fósforo en riego por aspersión debería evitarse, debido a que el movimiento de este nutriente es más limitado aún que en el riego por goteo. Casi todo el fósforo aplicado en riego por aspersión se acumula en los primeros centímetros superiores del perfil del suelo que se seca rápidamente entre ciclos del riego.

Potasio

Este elemento se considera de gran importancia en la nutrición de las plantas, especialmente en su aspecto sanitario. El potasio es un elemento responsable de más de 48 funciones distintas en las plantas, desde regulador de cierre estomático de las hojas en las células oclusivas, hasta principal activador de la síntesis de carbohidratos. Esta última función es muy importante en cultivos como la papa debido al gran contenido de carbohidratos que debe formar la planta y almacenar en los tubérculos.

El potasio es un macronutriente esencial y se encuentra en varias partes de la planta. Está siempre presente en la planta en forma iónica K^+ que nunca se modifica (Ben-Zioni y Vaadia, 1971). Una vez que la concentración externa en la solución de suelo aumenta por la adición de fertilizantes, los iones K^+ se dividen en tres fases: (1) en la solución de suelo, (2) en el reservorio de cationes intercambiables de las arcillas y (3) y en el espacio inter laminar de las arcillas, donde se fija.

El potasio se acumula principalmente en las hojas superiores y ramas hasta el fin del estadio de crecimiento II a una tasa de 128 mg de K por día. Durante el período de crecimiento III, los tubérculos absorben K del suelo e importan K de las ramas para el desarrollo de los tubérculos, a una tasa de 60 mg por planta por día (Carpenter, 1957). De este modo el K se acumula en los tubérculos durante el periodo de crecimiento completo. Siendo alimentado tanto desde las partes vegetativas como por la absorción directa del suelo.

2.11. Precipitación

La precipitación es la fuente primaria de agua en la producción agrícola y la cantidad y frecuencia de esta es determinante para programar la aplicación del riego, sin embargo, no toda el agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo puede ser aprovechada por las plantas ya que parte de ella fluye como es corriente superficial y se percola a mayor profundidad que la zona de raíces. El agua que puede ser almacenada en el suelo y es aprovechada por las plantas se llama precipitación

efectiva (P_e) y es determinada por la textura y estructura del suelo, el clima y la profundidad de la zona de raíces (Brouwer *et al.*, 1986).

2.11.1. Precipitación efectiva

Del total de precipitación pluvial que ocurre en un determinado periodo de tiempo, solo una parte es aprovechada por la planta, mientras que el restante se pierde por escorrentía superficial, percolación profunda y por evaporación desde el suelo follaje de las plantas; por tanto, la precipitación efectiva es aquella parte de la lluvia que tras llegar al suelo se almacena en la capa radicular (Chipana, 2003)

2.11.2. Capacidad de campo (CC)

El concepto de capacidad de campo, es cuando el suelo está completamente humedecido o saturado, al cual, se deja drenar libremente durante dos o tres días, con la finalidad de eliminar por acción de la gravedad, el sobrante de agua, se dice entonces que el suelo se encuentra a la capacidad de campo (Cadahia, 2005),

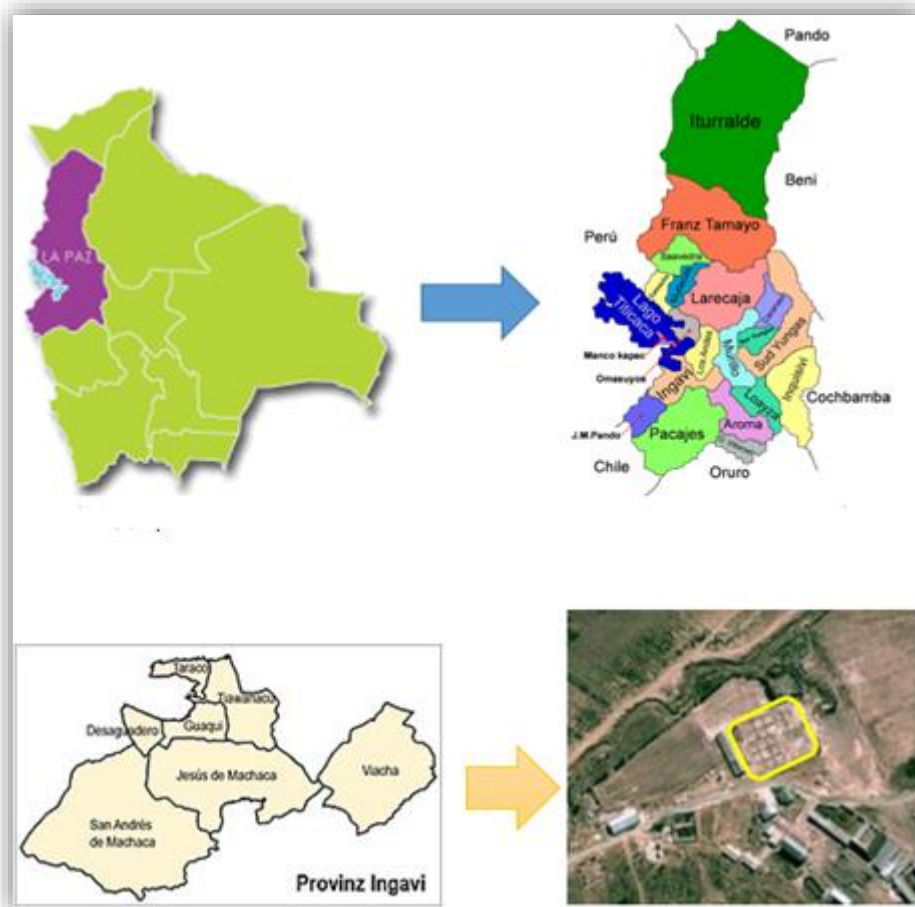
2.11.3. Punto de Marchitez Permanente

El punto de marchitez permanente se caracteriza, cuando el contenido de humedad del suelo no está disponible para las plantas; a medida que va quedando menos agua, esta es retenida por el suelo con más fuerza, hasta que llega un momento en que la succión de las plantas no pueden vencer la fuerza de retención del agua, y las plantas se marchitan irreversiblemente, ahí es cuando se dice que ha alcanzado el punto de marchitez permanente (Fuentes, 1999).

3. LOCALIZACIÓN

3.1. Ubicación

El presente trabajo se realizó en predios de la Estación Experimental de Choquenaira, dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), en la Comunidad Choquenaira, a 5 km de la ciudad de Viacha, Provincia Ingavi del Departamento de La Paz, durante la campaña agrícola 2018 – 2019. Situado geográficamente a 16°41'39" de Latitud Sur y 68°17'14" de Longitud Oeste, a una altura promedio de 3.870 m.s.n.m.



FUENTE: propia EECH (2018)

Figura 3: Ubicación del área de estudio (Estación Experimental de Choquenaira).

3.2. Características climáticas

La Estación Experimental de Choquenaira, se encuentra en el altiplano boliviano y posee un clima frío y seco la mayor parte del año con una estación lluviosa entre diciembre a febrero.

(Mamani & Céspedes, 2012), la estación presenta las siguientes características climáticas:

- Precipitación pluvial media anual	485 mm
- Temperatura media anual	7,79°C
- Temperatura mínima absoluta	1,95°C
- Temperatura máxima absoluta	13,63°C
- Humedad relativa media anual	65,19%
- Velocidad de viento	6,89km/h

3.3. Condiciones climáticas durante la investigación

Las condiciones climáticas que se presentaron durante el periodo octubre/2018 a marzo/2019 en el que se desarrolló la investigación. Con base a la información obtenida de la estación climático DAVIS se presenta los siguientes parámetros climáticos:

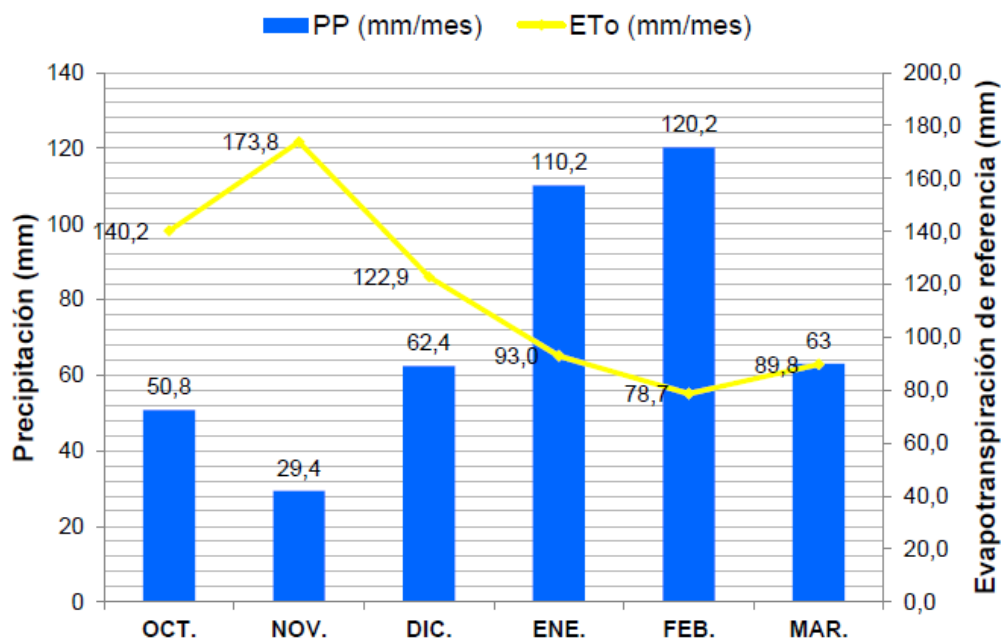
3.3.1. Precipitación (PP) y evapotranspiración de referencia (ETo)

En la Figura 3, se muestra el análisis de la precipitación pluvial (PP) mensual, ocurrida durante el ciclo vegetativo del cultivo de papa de mes octubre de 2017 a marzo de 2018, donde alcanzo un total precipitación acumulada de 436,00 mm.

Además se observa en la figura la menor precipitación se registró en el mes de noviembre con 24,9 mm y la máxima precipitación en el mes de febrero 120,2 mm. Siendo los meses más lluviosos enero y febrero respectivamente, no fue favorable por que se llegaron a saturar el suelo dando lugar al escurrimiento superficial, para ello se realizó el drenaje en la parcela.

Al respecto, según FAO (2008), señala que la cantidad ideal para una producción adecuada del cultivo de papa está entre los 500 a 700 mm de precipitación distribuidas

durante su periodo vegetativo de acuerdo a las condiciones climáticas y de la duración del cultivo.



Fuente: Elaboración propia (2019)

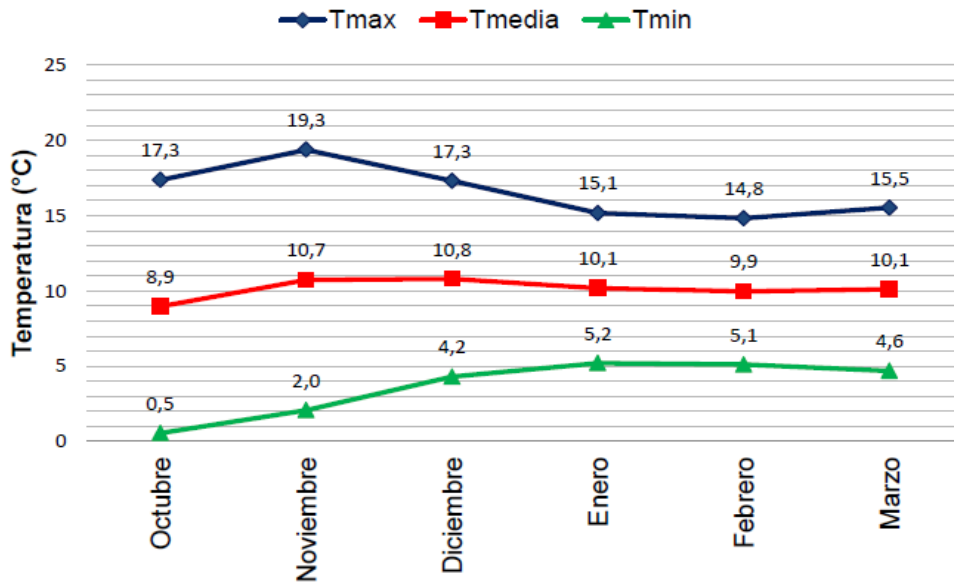
Figura 4. Precipitación (PP) y Evapotranspiración (ETO)

Del mismo modo se observa en la Figura 4, la evapotranspiración de referencia, donde la máxima evapotranspiración se presentó en mes noviembre 173,8 mm y la mínima en mes de febrero 78,7 mm. Los meses octubre, noviembre, diciembre y marzo la evapotranspiración de referencia es superior a la precipitación, esto indica que existe un déficit hídrico, mientras los meses enero y febrero es menor la evapotranspiración y con mayor precipitación.

3.3.1. Temperatura ambiente durante el periodo de cultivo

En la Figura 4, la temperatura ambiente durante el periodo de cultivo de papa, como temperatura promedio se tuvo 10,1 °C, con una temperatura mínima de 3,6 °C y temperatura máxima 16,6 °C. Al respecto Alvarado (1986), menciona que la

temperatura media óptima para el desarrollo y fotosíntesis del cultivo esta entre 10 a 20 °C, la cual es relativamente aceptable para el desarrollo del cultivo de papa.



Fuente: Elaboración Propia (2019)

Figura 5: Temperatura ambiente durante el periodo del cultivo de la papa

Las temperaturas ideales se sitúan en el rango de 15 a 20°C para el crecimiento de las plantas y de 14 a 18 °C para la tuberización. La variedad Waycha presenta resistencia a temperaturas bajas de 5 a 6 °C bajo cero, cuando el descenso de la temperatura es lento; en cambio, si este descenso es rápido provoca la muerte de las plantas a los 2 °C bajo cero, Según (Canqui y Morales, 2009).

Por otro lado las temperaturas bajas en exceso afectan principalmente al cultivo de papa ya que los tubérculos quedan pequeños y sin desarrollar, por el contrario si la temperatura es elevada afecta a la formación de los tubérculos y favorece al desarrollo de plagas y enfermedades (INFOAGRO, 2010).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Equipos, herramientas y materiales

Barreno muestreador	Motofumigadora (25 L)
Cámara fotográfica	Cronómetro
Wincha métrica de 30 m	Balanza analítica
Carretilla	Picota
Pala	Chuntilla
Estacas	Planilla de registro
Flexometro	Regla metálica de 60 cm
Calculadora	Cuaderno de campo

4.1.2. Insumos

- Semilla de papa: variedades de Waycha e Imilla Negra
- Solución "A" Nitrito-S, Nitrato de Potasio y Fosfato Mono amónico (A1).
- Solución "B" (Sulfato de Magnesio y Sulfato de Potasio (B1), Micronutrientes (B2) y Quelato de Hierro (B3).
- Solución "C" Nitrato de Calcio.
- Insecticida karate (Lambda-cyhalothrin50g/l)

4.1.3. Material de gabinete

Computadora	Impresora
Microsoft Office	Papeleria
Bibliografía	Internet

4.2. Métodos

4.2.1. Diagnostico parcelario

Como primera medida se realizó un diagnóstico de evaluación parcelaria, donde se evidencio la implementación de un sistema de riego presurizado por goteo, contando con los componentes de red de tuberías de aducción, distribución, almacenamiento, mediante bombeo con energía eléctrica (caseta de bombeo), aprovechando el sistema mediante fertirrigación del cultivo de papa con su tratamientos respectivos.

4.2.2. Muestreo y análisis de suelo

Con el fin de interpretar la calidad nutricional del suelo de la parcela experimental, se procedió a tomar las muestras respectivas bajo protocolo y estándares requeridos (muestreo aleatorio con cuarteo), remitiéndose la misma para su análisis a laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. Los resultados de análisis de suelo se muestran a continuación.

Cuadro 3: Análisis de suelo.

Ph	CE (1:1)	N	MO	P	K	CIC (1:1)
	mmho/cm	%	%	Ppm	Meq/100g	Meq/100g
8,38	1,29	0,17	2,29	29,90	2,40	32,70

Fuente: laboratorio de suelos facultad de agronomía – UMSA (2018).

En el cuadro 3 se observa el análisis del suelo, donde el pH es fuertemente alcalino debido a la presencia de sales por el valor de conductividad eléctrica. Esta condición que se tenga inmovilización de Hierro, Magnesio, Zinc y Boro (Fe, Mg, Zn y B). La presencia de sodio incide en la moderada salinidad del suelo, sin embargo es neutralizado por los cationes de cambio (Ca, Mg y K). La capacidad de cambio catiónico es la capacidad que tiene el suelo de retener nutrientes y es considerada muy alto debido a la presencia de Calcio que se encuentra en valores muy altos. Así mismo puede deberse al tipo de arcilla, sin embargo el principal factor es el pH fuertemente

alcalino debido a la elevada saturación de bases especialmente de calcio la relación Ca/Mn es alto señalando que se tiene Ca en forma de carbonatos de Calcio. La relación Ca/K y Mg/K son bajos lo que significa que tiene niveles de Potasio (Anexo 1).

4.2.3. Limpieza

Esta actividad se inició con la limpieza de terreno recogiendo piedras y otros elementos no deseados de la parcela de investigación asignada.

4.2.4. Preparación del suelo

De manera previa en la parcela experimental, se aplicó riego por superficie con el fin de llevar el suelo a capacidad de campo (CC), facilitando la operación de preparación con el tractor agrícola. Se procedió con la preparación del suelo en una superficie de 820 m² con las siguientes fases:

- Roturado, realizado con arado de disco a una profundidad de 35 cm de la capa arable del suelo, volteando la misma para su exposición a la radiación solar.
- Rastreado, labor realizada con una rastra de discos, repasando varias veces en sentidos diferentes desterronando partículas gruesas (mullido del suelo).
- Nivelación, se realizó con la ayuda de un tablón amarrado a la rastra, emparejando el suelo, con la pendiente natural para tener uniformidad mediante el sistema de riego implementado.

4.2.5. Adecuación de la parcela experimental

En la parcela experimental se realizó los ajustes de preparación (nivelación, mullido, pendiente), empleando herramientas menores (picota, pala, carretilla). Posteriormente con la ayuda de materiales (Wincha métrica, flexometro, estacas, lienzo) se procedió

con la medición y delimitación del área experimental (820 m²) con sus respectivas unidades experimentales y pasillos.

4.2.6. Siembra del cultivo de la papa

Previa selección de los tubérculos de semilla de papa en sus variedades Waycha e Imilla Negra, se procedió con su respectiva desinfección para evitar enfermedades fungosas, empleando el fungicida Ridomil (ingrediente activo Metataxil-M) a razón de 4 kg/ha, preparado en recipiente con agua, donde se sumergió los tubérculos por 10 minutos, dejando secar por el tiempo de una hora, para su posterior siembra.

La siembra se realizó con tractor agrícola, abriendo los surcos con el implemento surcador a una profundidad de 0,30 m, a una distancia entre surcos de 0,80 m. Los tubérculos se dispusieron de forma continua en los surcos a una distancia de 0,40 m entre tubérculos, finalmente se procedió con el tapado de los surcos con la maquinaria e implemento agrícola respectivos.

4.2.7. Instalación del sistema de riego

A partir de la red de distribución primaria instalada en la parcela, se adaptó las unidades de riego de acuerdo al cultivo de papa en función al diseño propuesto. Se instaló el sistema de inyección de fertilizantes (tipo Venturi) para la fertirrigación de unidades experimentales; luego se implementó los contadores de registro de volumen de agua en cada unidad experimental, la incorporación de válvulas de aire y el tendido de mangueras porta laterales con sus respectivos goteros. Los laterales de riego llevaron consigo una válvula de paso para el control manual del flujo de agua.



Fuente: Reporte fotográfico (2018 - 2019)

Figura 6. Preparación y tendido de cintas de goteo en parcela experimental

4.2.8. Desarrollo de labores culturales

4.2.8.1. Aporque

Esta labor de aporque del cultivo de la papa se realizó a los 50 días de la siembra con tractor agrícola con su implemento surcador, con el objeto de alinear y, elevar el surco respecto al suelo para estimular el crecimiento y drenar el agua excedente en la época lluviosa y también para una óptima tuberización del cultivo.

4.2.8.2. Control de malezas

Se realizó los desyerbes para evitar la competencia de malezas con las plantas de papa (Luz, agua, nutrientes), de forma manual con la ayuda de herramientas menores (chuntillas), en los diferentes tratamientos.

4.2.8.3. Control fitosanitario preventivo

Se hizo un monitoreo continuo de la incidencia de plagas y enfermedades en el proceso de desarrollo del cultivo de la papa. Después de la emergencia de las plantas de papa

se aplicó como medida preventiva el insecticida Karate (etiqueta amarilla) para el control de la plaga gorgojo de los Andes, por aspersion, bajo la dosis de 20 ml en 20 litros de agua. Asimismo, para prevenir enfermedades como el Tizón temprano y tardío se aplicó el fungicida Ridomil (Etiqueta azul) bajo la dosis recomendada (20 kg/ha).

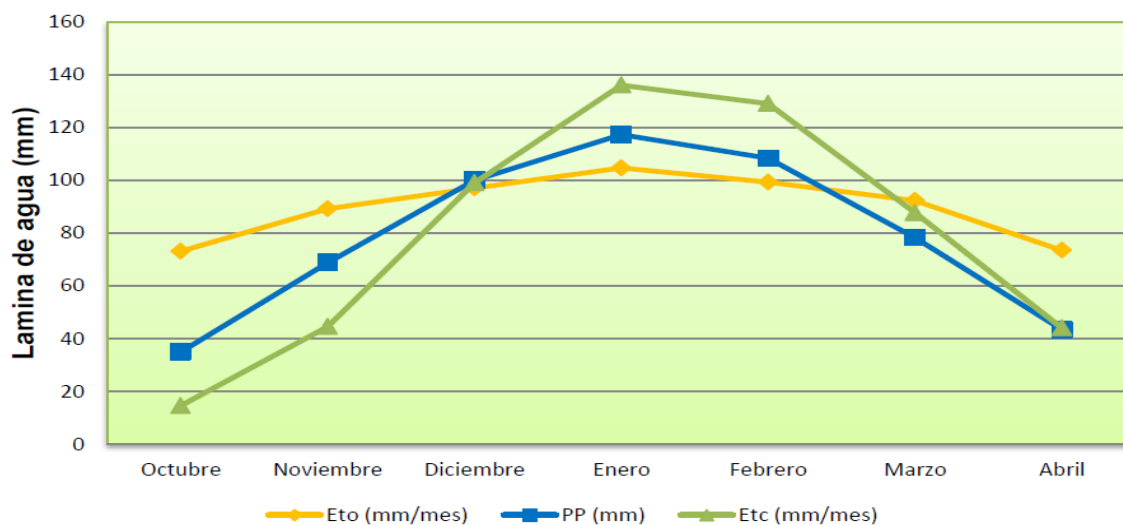
4.2.9. Riego y fertirrigación de parcelas

Para sacar el balance hídrico se obtuvo los datos climáticos de la Estación Experimental de Choquenaira con registro de 10 años (2008 a 2018).

Cuadro 4: Balance hídrico y programación de riego al cultivo de papa.

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Dias del mes	22,00	30,00	31,00	31,00	29,00	31	5,00
Eto(mm/mes)	73,07	89,15	97,03	104,60	99,20	92,23	73,45
Pp(mes)	35,00	68,75	99,98	117,2,00	108,25	78,2	43,40
Eto (mm/día)	3,32	2,97	3,13	3,37	3,42	2,98	14,69
Kc	0,20	0,50	1,02	1,30	1,30	0,95	0,60
Ppefec*0.75	26,25	51,56	74,99	87,90	81,19	58,65	32,55
Etc (mm/dia)	16,61	5,94	3,07	2,60	2,63	3,13	24,48
Etc(mm/mes)	14,61	44,58	121,97	135,98	128,96	87,62	44,07
Nn (mes)	-11,64	6,99	23,99	48,08	47,77	28,97	11,52
Zn (5 cm)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,0	60,00	60,00
Fr	4,00	1,00	0	0	0	1	1

Fuente: Propia (2019)



Fuente: Propia (2019)

Figura 7. Balance hídrico del cultivo de papa.

En el cuadro y figura se presenta el balance hídrico del cultivo de la papa lo cual manifiesta en que mes hubo déficit o exceso de humedad en el suelo que hayan influido directamente en el rendimiento del cultivo en estudio, como se puede apreciar en la gráfica I pp precipitación va aumentando, esto nos quiere decir que durante estos meses de octubre y noviembre son bajos, a partir la precipitación va en ascenso. También podemos decir que durante los meses donde hay menor precipitación la evapotranspiración es mayor debido a la radiación solar. Sin embargo en los meses de Diciembre, Enero y Febrero son mayores y el cultivo no va requerir riego complementario por goteo, en cambio que la Etc en el mes de Enero y Febrero son altos porque en esta fase el cultivo ya casi llega a su máximo desarrollo tiene mayor cobertura foliar, absorbe más agua y Evapotranspira mas, y a medida que va entrando a su última fase, la Etc va reduciendo por que la planta va perdiendo sus hojas por caída y sequedad de las mismas debido a que llega al final de su ciclo vegetativo. El riego complementario se aplicó en los meses en los meses de octubre y noviembre por que el suelo se encontraba seco, y en los, meses de diciembre, enero y febrero no se aplicó riego complementario, el suelo no ha necesitado humedad debido a las precipitaciones de esa época.

El riego presurizado por goteo se realizó de acuerdo a la demanda calculada del cultivo (Balance hídrico) considerando las etapas de desarrollo y la época seca y lluviosa. En época seca en noviembre, parte de diciembre y marzo se aplicó el riego con agua del reservorio y en los meses de enero y febrero se aprovechó las lluvias con riegos suplementarios mínimos, en abril se cortó el riego del cultivo con el fin de que el cultivo tenga la formación y maduración de tubérculos (tuberización).

Un cultivo de papa de 120 a 150 días consume de 500 a 700 mm de agua, la producción se reduce si se agota más de 50% del total de agua disponible en el suelo durante el periodo de crecimiento de los mismos, tiende a reducir la producción mientras que el cultivo sufre menos la falta de agua al inicio del crecimiento vegetativo (FAO, 2008).

La distribución de agua en el suelo no es homogénea, este depende de la velocidad de infiltración, capacidad de campo, después de la lluvia o irrigación, contenido de materia orgánica, textura, densidad aparente y la topografía del suelo que hacen que las lluvias ocasionen la mojadura al suelo (Ratto, 2005).

La cantidad de agua en el suelo afecta en la producción de papa, pues esta influye en diversos procesos fisiológicos, principalmente en el crecimiento fotosíntesis y absorción de nutrientes (Barrera, 2001).

4.2.9.1. Dosificación de la fertirrigación

Bajo la recomendación de la (FAO, 2002), se tomó el requerimiento del cultivo de la papa respecto a los macronutrientes de N, P, K y otros elementos menores. Las dosis requeridas del cultivo de papa son: 120 kg/ha de N, 55 kg/ha de P y 310 kg/ha de K.

Cuadro 5. Absorción y extracción de nutrientes por el cultivo.

Nutriente	Requerimiento (kg/tn)	Absorción (kg/ha)	Extracción (kg/ha)
N	5,5	330	211,2
P	0,9	54	42,1
K	8,3	492	324,7
Ca	1,4	84	5,9
Mg	0,8	48	-
S	0,7	42	-

Fuente: (García, 2016)

Cuadro 6. Absorción de algunos nutrientes por el cultivo de papa, según autores y diferente nivel de rendimiento.

Tubérculos tn/ha	N	P	K	Mg	S	Referencia
38	224	76	336	-	-	Dahnke y Nelson, 1976
40	120	55	221	-	-	Kupers, 1972
63	288	128	396	35	26	Tisdale y Nelson, 1975
94	300	80	480	52	-	Sierra y Rojas, 1989

Fuente: (Sierra *et al.*, 2002)

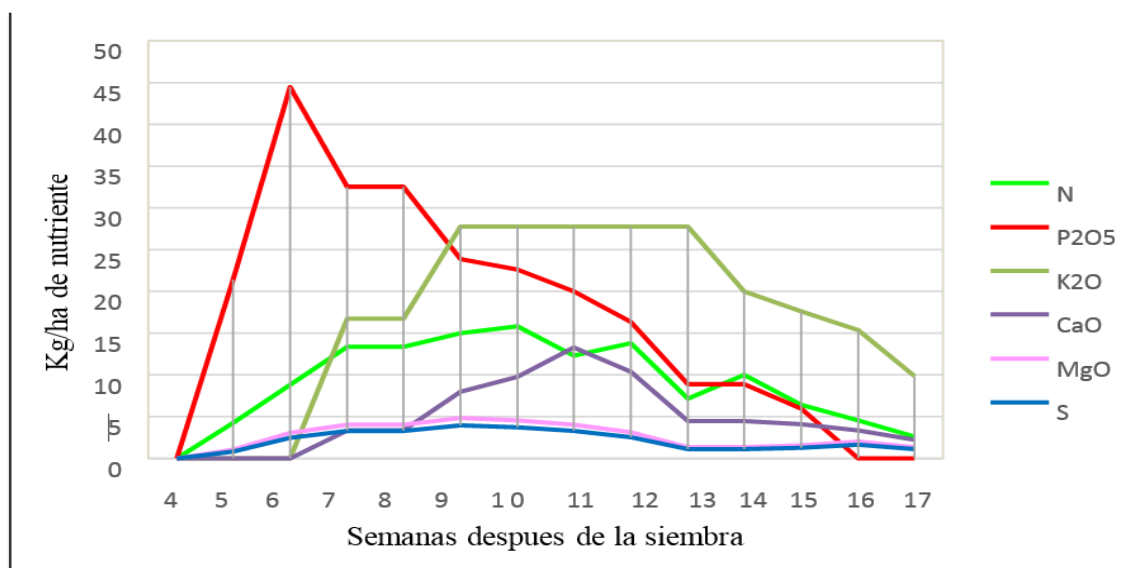
Se consideró, los valores de las tablas, de manera orientativa, teniendo en cuenta que pueden variar dependiendo de distintos factores, como mejoras genéticas de cultivares, condiciones del cultivo, niveles de rendimiento, entre otros.

La fertilización exacta y precisa para el cultivo de papa es difícil de logara, debido a que en este proceso interviene factores dinámicos de tipo biológico, químico y agro físico que interactúan entre el suelo, la planta y la atmosfera que hacen difícil su predicción (Sierra *et al.*, 2002).

En el cuadro 6, se nota que existe una tendencia general, que a mayor rendimiento existe un moderado incremento de la extracción de nutrientes.

Aplicación de los fertilizantes

Las plantas a lo largo de su ciclo productivo tienen diferentes requerimientos nutricionales, presentándose periodos críticos de mayor necesidad, por consiguiente es indispensable una disposición adecuada de los fertilizantes para garantizar que sean mejor aprovechado para ello se optó conveniente en aplicar los fertilizantes en forma fraccionada mediante dosis de fertilización durante la investigación y también teniendo en cuenta el desarrollo fenológico productivo de la papa (figura 8).



Fuente: Piero (2017)

Figura 8: aporte de nutrientes

Estrategia de aplicación

En cuanto al aporte de fósforo (P), se aplicó durante la emergencia con la finalidad de ayudar en la formación temprana de raíces y tallos aéreos, se fue incrementando progresivamente hasta el día 90 después de la siembra, luego se fue disminuyendo hasta hacerse nula la aplicación en el día 150 después de la siembra. La planta absorbe P durante todo el periodo de crecimiento de los tubérculos. (Kafka y Tarchitzky, 2012).

El buen desarrollo radicular garantiza la función de absorber el agua y los nutrientes contenidos en el suelo. La fertilidad del suelo es una de las condiciones que determinan el número de longitud de los estolones (Egusquiza, 2014).

Cuadro 7. Distribución porcentual de nutrientes.

DDS	Crecimiento, desarrollo y tuberización	N	P	K
		-----Kg/ha-----		
0-30	Emergencia	3%	9%	0%
30-40	Mayor desarrollo y elongación	7%	19%	0%
40-50	Tallos aéreos diferenciados, mayor elongación de raíces	11%	14%	7%
50-70	Estolones diferenciados	22%	24%	19%
70-90	Tuberización masiva	22%	17%	24%
90-100	Tuberización o llenado	16%	11%	24%
100-130	Mayor ritmo de tuberización	18%	6%	26%
130-180	Madurez	0%	0%	0%
	TOTAL	100%	100%	100%

Fuente: Propia (2019).

La aplicación de Potasio (K) fue a partir de la quinta semana después de la siembra, la proporción de este nutriente se fue incrementando progresivamente hasta el día 130 después de la siembra, la finalidad de su aplicación en grandes proporciones es la de mejorar las condiciones de la planta para tolerar déficit hídrico, además de intervenir en diferentes procesos de síntesis y transporte de los azúcares desde las hojas y su conversión en almidón en el tubérculo aplicación durante la temporada de crecimiento permite lograr más kilos por hectárea de producción (Egusquiza, 2014).

El Nitrógeno (N) es muy importante para el desarrollo foliar de la planta, porque ayuda a lograr una mayor tasa fotosintética y también estimula el crecimiento del tubérculo. Se reduce en abastecimiento de nitrógeno proveniente del suelo para lograr condiciones óptimas de tuberización (Egusquiza, 2014).

Para este caso la fertilización fue en base a estimaciones según las extracciones del cultivo, siendo un método válido si se aplica un abonado racional. En el estudio se utilizó riego por goteo por lo que se tuvo que adaptar la fertilización a las características que ese tipo de riego presenta, tales como una menor zona mojada, una gran eficiencia, menor lavado de nutrientes, mayor rendimiento de las unidades formula aportada. Siendo necesario, por lo tanto, fraccionar lo máximo posible NPK para cada estado fenológico de la planta (Medina, 2002).

4.3. Variables de respuesta

4.3.1. Durante el crecimiento

- **Porcentaje de emergencia de las plantas:** Se determinó mediante el conteo del número de plantas emergidas a los 30 a 35 días después de la siembra en ambas variedades en estudio.
- **Altura de plantas:** Para evaluar el crecimiento de las plantas se midieron en 8 oportunidades (2 veces por etapa fenológica), estas fueron elegidas al azar en cada unidad experimental. La medida se tomó desde el cuello de la planta hasta la altura de la yema terminal del tallo principal.
- **Numero de tallos principales por planta:** Se determinó contando el número de tallos por planta. Las evaluaciones se realizaron antes y después del aporque iniciándose el día 50 después de la siembra.

4.3.2. Durante la cosecha

La cosecha se realizó de forma semi mecanizada con la ayuda de un tractor agrícola, se abrieron los surcos y de forma manual se recogieron los tubérculos por cada planta, posteriormente fueron clasificados y pesados.

- **Rendimiento total:** Se considera como la relación de dividir la producción total entre la superficie cosechada, expresada en tn/ha. Se ha pesado la cantidad total de cada variedad Waycha he Imilla Negra.

$$\text{Rendimiento} = \text{cantidad producida (tn)} / \text{superficie cosechada (ha)} * 1000$$

- **Rendimiento comercial:** Se considera como la relación de dividir la producción clasificada entre la superficie cosechada, expresada en tn/ha. Se pesara la cantidad clasificada correspondiente a los calibres pertenecientes al nivel comercial (extra, primera, segunda, tercera, etc.).

Para determinar el tamaño del tubérculo por categorías se utilizó la siguiente clasificación:

Cuadro 8. Descripción de calibres o diámetro de tuberculos de papa

Categoría	Diámetro longitudinal (cm)
Extra	> 9,0
Primera	7,5-9,0
Segunda	6,0-7,5
Tercera	4,5-6,0
“Chancho o descarte”	<4,5

Fuente: (Sifuentes, 2012)

4.3.3. Análisis de costos parciales

Para el análisis de costos parciales del presente trabajo se realizó un cuadro de costos de producción donde se presenta los costos variables, ingresos brutos, ingresos netos y un análisis de beneficio/costo para cada variedad.

4.3.4. Ingreso bruto (IB)

El ingreso bruto se calculó multiplicando el precio por el rendimiento obtenido de cada variedad, con la siguiente fórmula:

$$\mathbf{IB = (R * P)}$$

Donde:

IB= Ingreso Bruto

R =Rendimiento

P= Precio

4.3.5. Ingreso neto (IN)

Este valor se obtuvo restando el total de los costos variables del ingreso bruto, el resultado es la ganancia neta. La estimación de los ingresos netos se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{IN = (IB - CV)}$$

IN = Ingreso Neto

IB= Ingreso Bruto

CV=Costos variables

4.3.6. Beneficio/costo (B/C)

Este valor se obtuvo dividiendo el ingreso bruto total con el total de los costos, con la siguiente fórmula:

$$\mathbf{B/C = (IBT / CT)}$$

B/C = Beneficio Costo

IBT = Ingreso Bruto Total

CT= Costo Total

Esta relación beneficio/costo, muestra la ganancia que se puede lograr, cuando este valor da menor a uno; indica que no existe ganancia, hay pérdida en la producción por el alto costo de producción ya sea en los costos variables o en los costos fijos.

Cuando se tiene valor de uno, indica que se recupera los gastos de producción pero no existe beneficio costo. Si el valor es mayor a uno significa que hay rentabilidad en la producción. (Mokate, 1998).

4.4. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva empleando medidas de tendencia central (promedio, y desviación estándar).

El modelo Estadístico es adecuado a la investigación es la distribución t de Student ya que en la investigación se realizó las pruebas de medias entonces se define el Estadístico Según (Murray y Larry 2001).

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

Donde:

X1= es el promedio de los valores de la muestra 1

X2= es el promedio de los valores de la muestra 2

S1= es la varianza de los valores de la muestra 1

S2= es la varianza de los valores de la muestra 2

N1= es el número de elementos de la muestra 1

N2= es el número de elementos de la muestra 2

4.8.5. Factores de estudio

Variable independiente: Soluciones nutritivas concentradas.

Variable dependiente: Rendimiento del cultivo de papa.

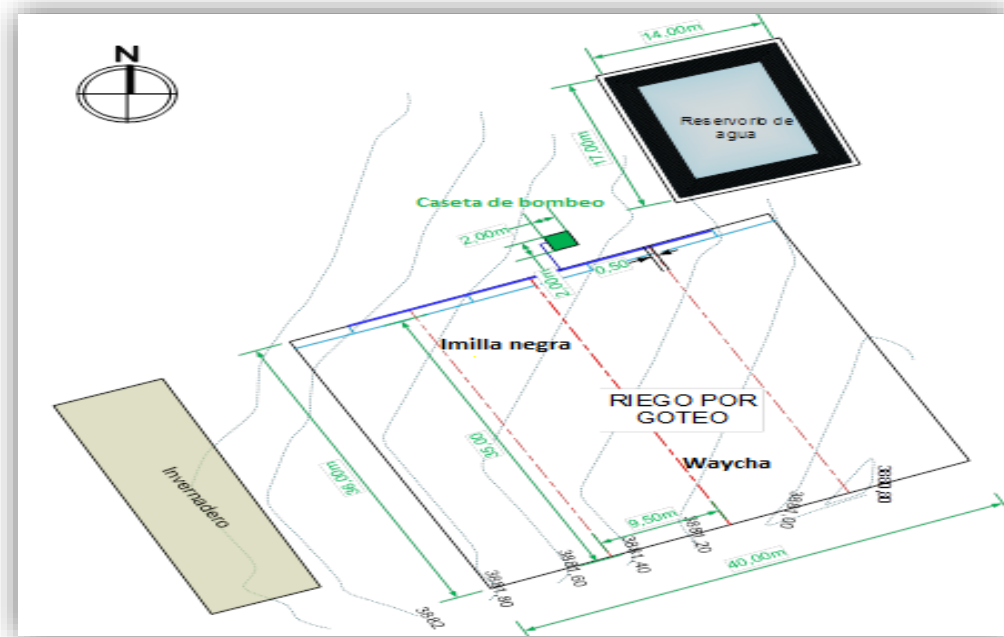
Factor: Variedades de papa

T1 = Waycha

T2 = Imilla Negra

4.8.4. Distribución experimental

En la parcela experimental se instaló 2 unidades experimentales con una distribución para 2 variedades de papa comercial con las que se hizo el presente trabajo como se muestra en la Figura 9; las dimensiones de cada unidad experimental fueron de 32,0 m x 10.4 m. Las 2 unidades recibieron la misma dosificación en cuanto a fertilización y control fitosanitario.



Fuente: Propia (2019)

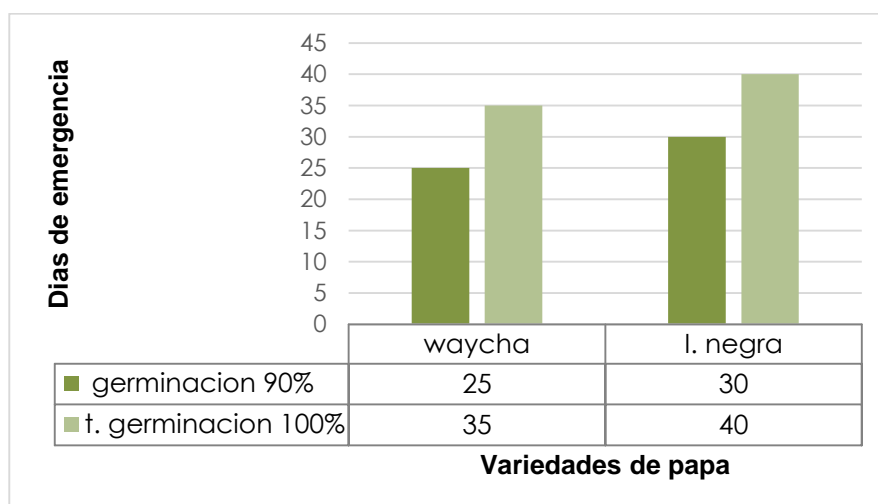
Figura 9. Planimetría del área implementada con fertirrigación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de variables agronómicas

5.1.1. Porcentaje de emergencia

El porcentaje de emergencia en tubérculos de papa sembrada en la parcela experimental manifestaron que la variedad Waycha toma menos tiempo en relación a la variedad Imilla Negra presentándose a los 35 y 40 días respectivamente el 100% de emergencia después de la siembra (Figura 9).



Fuente: Propia (2019).

Figura 9. Porcentaje de emergencia

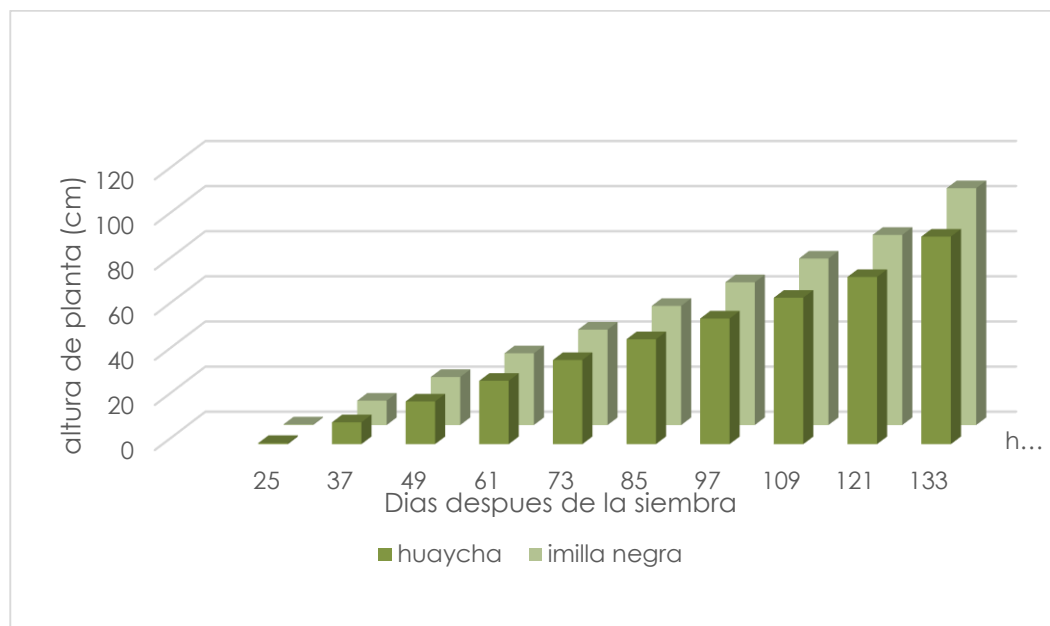
El estado de plantación a emergencia dura entre 20 a 35 días dependiendo de la variedad de papa, humedad, temperatura del suelo. Se debe realizar control de malezas y favorecer la rápida emergencia de los tallos. Porque son menos susceptibles a rizoctonia cuando se forma tejido verde (Conde, 2013).

5.1.2. Altura de la planta

En el cuadro 8 se muestra los promedios de altura de planta tomadas en diferentes periodos vegetativos. Durante los primeros días después de la siembra el promedio

de altura no presento diferencias, posteriormente se presentó diferencia mínima entre las 2 variedades en estudio los cuales fueron regados en condiciones normales. La planta alcanzo su porte máximo a los 150 días presentando alturas de 118, 115, 105, 98 y 90 cm para ambos tratamientos respectivamente.

La papa es una especie de crecimiento rápido, aun cuando existen variedades de más lento desarrollo, determinando así el suministro de nutrientes en los primeros meses (Sierra, 2002).



Fuente: Propia (2019)

Figura 10. Variación de la altura de plantas en diez fechas de evaluación.

En la figura10 se muestra la altura de planta para cada variedad de papa con aplicación de riego en fases fenológicas, se tiene que la variedad Imilla Negra fue el que mayor crecimiento de planta obtuvo con un valor de 118.0 cm, y la variedad Waycha de la misma manera sin restricción hídrica de riego en todas las fases, hubo un menor crecimiento de planta de 102.0 cm de altura.

Al respecto indican que un cultico de papa crece de 0,5 a 1 metro de altura. Se observa que se obtuvieron mayor altura relativamente similar, entonces se puede afirmar que el

desarrollo de la papa tuvo respuesta favorable a la aplicación del fertirriego (Canqui & Morales, 2009).

Sin embargo otro autor mencionan que el crecimiento vegetativo de un cultivo, puede modificarse mediante la aplicación de riegos de alta frecuencia, esto no se traduce en una mayor productividad, ni aumento de las variables de estudio del cultivo (Gil *et al.*, 2003).

Se pueden obtener buenos resultados en crecimiento vegetativo si se aplican elementos nutritivos al riego, que influye en el rendimiento del cultivo siendo las importantes características físicas químicas del suelo (choque *et al.*, 2007).

5.1.3. Número de tallos por planta

A los 50 días después de la siembra se realizó el conteo de número de tallos principales por planta (antes del aporque), finalmente se hizo el último conteo a los 150 días después de la siembra (tabla 9) se observa que el promedio de tallos fue disminuyendo respecto al conteo inicial, debido a que la planta su madurez y por consiguiente las hojas inferiores y el follaje se tumba (Egusquiza, 2014)

Cuadro 9. Número de tallos por planta a los 50 y 160 días después de la siembra.

Tratamiento	Aporque (50 dds)	Cosecha (150 dds)
Imilla Negra	5,4	5,1
Waycha	4,8	4,3
Promedio total	5,1	4,7

Fuente: Propia (2019)

La papa es un cultivo que requiere asimilar grandes cantidades de, nutrientes en un breve período de tiempo, ya que su sistema radicular es fibroso ramificado, poco desarrollado y superficial, lo que permite el desarrollo y Cantidad de tallos desarrollados, la intercepción radical de los nutrientes. Presenta un crecimiento acelerado de su follaje que se expande libremente y un período relativamente corto de engrosamiento de los tubérculos, como órgano de reserva (Gruner, 1982. Citado por Nuñez, 2016).

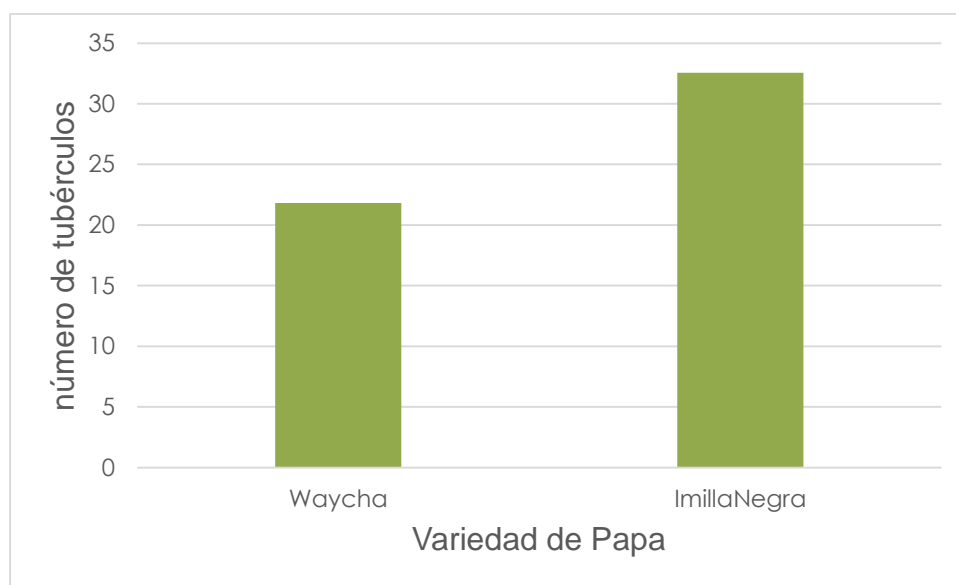
5.1.4. Número de tubérculos por planta

Cuadro 10. Prueba de t para número de tubérculos de dos variedades de papa

Variedad	Media	Desvío estándar	N	t	P>t	Significancia
Wuaycha	21,81	6,1	16	-6,67	<0,0001	**
Imilla Negra	32,56	12,86	16			

Fuente: Propia (2019)

En el cuadro 10, se observa el número de tubérculos de las dos variedades evaluadas donde es altamente significativa la variedad Imilla Negra, presentando mayor número de tubérculos por planta con una media 32,56 superando significativamente al promedio presentado por la variedad Waycha que tuvo una media de 22,81 tubérculos/planta.



Fuente: Propia (2019)

Figura 11. Número de tubérculos en las variedades en estudio

Al respecto Coca (2000), señala que en promedio se encuentran entre 16 a 30 tubérculos/planta en condiciones del altiplano. Si esta observación se toma como parámetro de comparación, se puede afirmar que tienen similitud con la presente investigación.

5.2. Análisis de productividad

5.2.2. Rendimiento productivo en variedades de papa

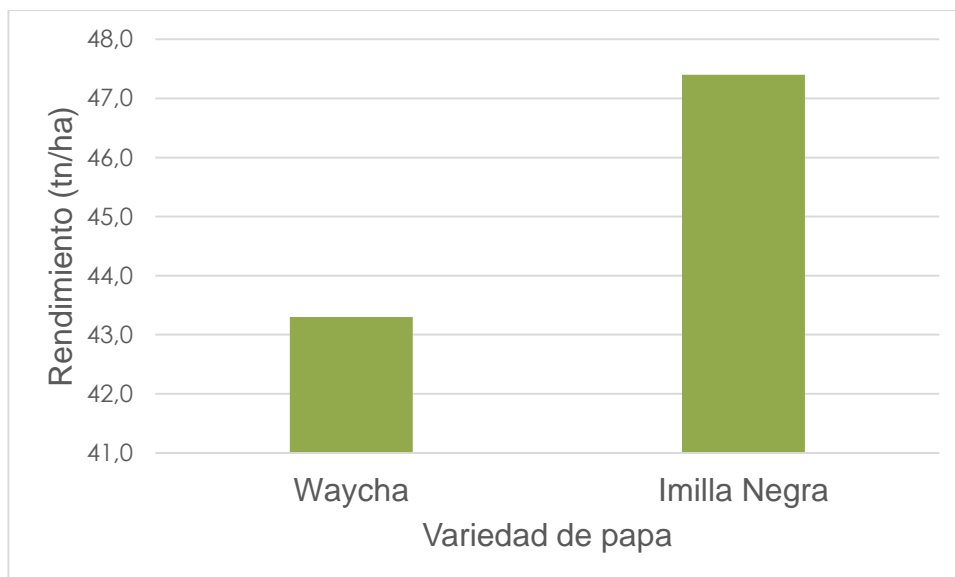
Se realizó el peso de los tubérculos de 16 plantas por variedad de papa, la producción se clasificó en grandes, medianos y pequeños, los resultados se presentan en el cuadro 11 donde se encuentran los valores promedio del rendimiento.

Cuadro 11: prueba de t para el peso de tubérculos de dos variedades de papa por categoría (g/planta)

Categoría	n1	n2	Waycha	Imilla negra	T	P	Significancia
1ra	15	16	790,41	1132,92	-4,73	<0,0001	**
2da	16	16	680,25	417,64	-2,43	0,0214	*
3ra	15	16	298,21	368,98	-4,05	<0,0001	**
4ta	15	16	181,63	195,7	-4,75	<0,0001	**
5ta	16	16	69,93	98,36	-4,73	<0,0001	**

Fuente: Propia (2019)

El peso de los tubérculos presenta un valor altamente significativa en la Variedad Imilla Negra donde presenta mayor número de tubérculos con un promedio de 2213,6 g/planta, su peso significativo supera al promedio presentado por la Variedad Waycha que tiene una media de 2020,43 g/planta.



Fuente: Propia (2019)

Figura 12. Rendimiento de la variedad Waycha he Imilla Negra

En la figura 12, se muestra que el rendimiento de la variedad Waycha con fertilización fue de 2020,43 g, que equivale a una producción de 43,3 t/ha. El rendimiento del cultivo Imilla Negra con fertilización fue de 2288 g, que corresponde a una producción de 47,4 t/ha.

Los resultados del rendimiento de papa indican que el tratamiento irrigado fertilizado por goteo superficial en la variedad Imilla Negra fue mayor con respecto a la variedad Waycha. Estos resultados tienen una leve similitud. Sin embargo en comparación con otras con otras investigaciones que se hicieron en anteriores gestiones, quienes también evaluaron rendimientos en la Estación Experimental Choquenaira. Cabe mencionar que por riego por goteo superficial hay un mejor aprovechamiento de Nitrógeno, Fósforo y Potasio por la planta, incrementando los rendimientos de la cosecha y un menor gasto de agua en el riego.

Estos resultados obtenidos en la investigación tiene una leve similitud en rendimientos con los resultados obtenidos por (Mamani 2017) que obtuvo rendimientos de (41,12 t/ha), (39,80 t/ha).

Quispe (2017), obtuvo un rendimiento de 56 tn/ha. Con el cual no tiene similitud el

presente trabajo de investigación. Esta diferencia probablemente se debe a las diferencias de textura del suelo, distintos insumos nutricionales aplicados al cultivo y superficie de investigación.

5.2.1. Del rendimiento

En la figura 12, se muestra los rendimientos totales en t/ha. El mayor rendimiento se obtuvo en con la variedad Imilla Negra con un rendimiento de 47,4 t/ha, mientras que en la variedad Waycha se obtuvo menor rendimiento de 43,3 t/ha.

5.3. Análisis económico parcial

5.3.1. Costos de producción

Se presenta el análisis de costos parciales para la presente investigación, se realizaron un análisis de costos variables para cada variedad.

Cuadro 12. Análisis de productividad y económico en tratamientos del cultivo de papa.

Trat. (Variedad.)	Rdto. (t/ha)	Rdto ajust. (t/ha)	Rdto. (qq/ha)	Precio (Bs)	IB (Bs/ha)	CP (Bs/ha)	IN (Bs/ha)	B/C
I. Negra	56,00	47,40	948,00	100	94.800,00	29.650,00	65.150,00	2,1
Waycha	51,00	43,30	866,00	100	86.600,00	29.650,00	56.950,00	1,9

Fuente: Propia (2019)

Rdto = Rendimiento; Rdto A= Rendimiento Ajustado; P = Precio; IB = Ingreso Bruto; CP = Costo de producción; IN = Ingreso neto; B/C = Beneficio/Costo.

5.3.2. Ingreso bruto

En el Cuadro 12, se muestra el análisis realizado para todos los tratamientos en función a los rendimientos obtenidos y su precio en el mercado para cada uno, se tiene mayor ingreso bruto en la variedad Imilla Negra con un valor bruto de 94.800,00Bs/ha, a la variedad Waycha que tiene el valor de 86.600,00Bs.

5.3.3. Ingreso neto

El resultado de los beneficios netos presentes, se observa que para en la variedad Imilla Negra se obtuvo un ingreso neto de 65.150,00Bs/ha, en la variedad Waycha se obtuvo 56.950,00Bs.

5.3.4. Beneficio/Costo (B/C)

En el Cuadro16, se observa en cuanto a la relación beneficio/costo (B/C) en la variedad Imilla Negra se tuvo 2,1 y en la variedad Waycha el (B/C) es 1,9 Estos valores obtenidos indican que hay rentabilidad con la producción de papa. Esto quiere decir que con el sistema de riego por goteo con fertirrigación bajo soluciones nutritivas concentradas es altamente eficiente, la variedad Imilla Negra llega ser la más rentable en la producción económicamente con un valor de Bs 2,1 es decir que por cada valor invertido y recuperado se tiene una ganancia de Bs 1,05 Bs. Y respecto a la variedad Waycha se tiene también que por cada valor invertido de 1.9 Bs. Se tiene una ganancia de 0,95 Bs.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados encontrados en la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Referente a las variables agronómicas la variedad Imilla Negra presento mayor influencia en crecimiento vegetativo satisfaciendo el desarrollo esperado cumpliendo la estrategia de minimizar los aportes hídricos sin que se afecte significativamente el rendimiento, dando a concluir que la variedad Imilla Negra y Waycha se constituyen en una óptima opción para método de fertirrigación.
- En cuanto al rendimiento obtenido en tuberculos de papa, bajo la aplicación de soluciones nutritivas concentradas con fertirrigación, la variedad Imilla Negra presento mayor rendimiento en relación a la variedad Waycha con 47,4 a 43,3 t/ha respectivamente.
- En cuanto a la evaluación económica de la producción de tuberculos de papa bajo soluciones nutritivas concentradas, la variedad Imilla Negra y Waycha presentan una similitud en cuanto a costos de producción con una inversión de 29.650,00 Bs/ha, diferenciándose las mismas en los Ingresos Netos (IN) debido a la mayor productividad con 65.150,00 a 56.950,00 Bs/ha, lo que se traduce en 2,1 y 1,9 de Beneficio costo (B/C) respectivamente.

7. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados logrados en la presente investigación, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Evaluar la producción de tubérculos de papa empleando otras soluciones nutritivas concentradas bajo un sistema de riego presurizado, utilizando cintas de goteo “VIP underground, cintas de goteo exudación, comparando sus ventajas y desventajas en la irrigación de cultivos.
- La aplicación de programas en sistema de riego presurizado y su validación con relación a las condiciones de campo en el cultivo de papa y otros.


8. BIBLIOGRAFÍA

- Camacho, F. (2004). *Factores limitantes del altiplano para la agricultura y degradación de propiedades físicas del suelo*. La Paz, Bolivia.
- Camargo, D. C., Montoya, F., Ortega, J., & Corcoles. (2015). *Potato yield and water use efficiency response to irrigation in semi-arid conditions*. *Agronomy Journal*.
- Canqui, H., & Morales, E. (2009). *Conocimiento local en el cultivo de la papa*. Cochabamba, Bolivia: Fundación PROINPA.
- CENTA, C. N. (2002). *Guía técnica Cultivo de Papa*. Recuperado el 17 de diciembre de 2017, de [www.centa.gob.sv/hortalizas/Guia Papa](http://www.centa.gob.sv/hortalizas/Guia%20Papa).
- Chipana, R. (2003). *Principios de Riego y drenaje*. La Paz, Bolivia: IRTEC.
- Cullen, J., & Wilson, A. (1971). *Producción Comercial de patatas y su almacenamiento*. España: Ed. Acribia.
- Doorembos, J., & Kassan, A. (1986). *Yield response to water trigation and*.
- FAO. (2008). *Atlas Mundial de la papa*. FAOSTAT; *World Potato*.
- FAOSTAT. (2017). *FAOSTAT online data base*. Recuperado el 14 de junio de 2018, de <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Fuentes, J. (1999). *Manual práctico sobre utilización de suelos y fertilizantes*. Madrid, España: Prensa.
- Hanco, R. (2014). *Evaluación del comportamiento de cuarenta y uno genotipos de papa (Solanum tuberosum), para tolerancia a la sequia en zonas áridas*. Arequipa: Facultad de Agronomía.
- Hanvertort, A. (1986). *Manejo del agua en la producción de papa*. Lima, Peru: Agropecuario hemisferio del Sur.
- Hijmans, R. (2003). The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*(4), 271-279.
- INE, I. N., & MDRyT, M. d. (2017). *Superficie, producción y rendimiento*. Recuperado el 22 de noviembre de 2017, de www.ine.gob.bo/indice/general.aspx.
- Jerez, J., & Simpfendorfer, C. (2000). *Efecto del riego en el cultivo de papa*. INA.
- Mamani, F., & Céspedes, R. (2012). Estación experimental Choquenaira. *Revista en imágenes*.
- Martínez, V., Calatrava, J., & Martín, B. (2009). *Economic assessment of shade-cloth covers for agricultural irrigation reservoirs in a semi-arid climate*. *Water Manage*.
- MDRyT, M. d. (2008). *Lanzamiento del año internacional de la papa en Bolivia (Memoria)*. La Paz, Bolivia.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas, M., & Gulias, J. (2007). *Eficiencia en el uso del agua por las plantas*. Obtenido de www.rua.ua.es/dspace/handle/100455
- Nielsen, E., & Orcutt. (1996). *Physiology of plants under stress*. Recuperado el noviembre de 2017, de [www.elsitioagricola.com/articulos/sierrafertilización](http://www.elsitioagricola.com/articulos/sierrafertilizacion).


- ODEPA. (2015). *Cultivos anuales. Estimación de de superficie sembrada a nivel nacional años agrícolas 2013/14 y 2014/15*. Recuperado el 22 de mayo de 2018, de <http://www.odepa.cl/cultivos-anuales-201112-y-201213-2>.
- Pino, M. (2016). *Estrés hídrico y térmico en papas, avances y protocolos*. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias .
- PROINPA. (2009). *Programa de Investigación de Productos Andinos. Compendio de enfermedades, insectos, nematodos y factores Abióticos que afectan el cultivo de papa en Bolivia*. Cochabamba, Bolivia.
- Quispe, A. (2000). *Caracterización Preliminar del banco de germoplasma de papa*. La Paz, Bolivia.
- SEPA. (2007). *Informe de Evaluación Interna Campaña Agrícola 2006-2007*. Cochabamba, Bolivia.
- Sierra, C. (2005). *Balance hídrico integrado y dinámico*. El Salvador.
- Villafuerte. (2008). *Descripción del cultivo de papa*. Recuperado el 10 de enero de 2018, de www.agroancash.gobp.pe/public/articulos/aip2008/.
- Michi, U. 2009. *Sistemas de Riego Tecnificado* En: Seminario de Riego tecnificado (2009: Guayaquil-Ecuador).
- Lecaros, J. 2011. *El Riego por Goteo* En: Seminario Internacional de Riego y Fertilización (2011: Chiclayo-Perú).
- Wasterman, D. y Davis, J. 1992. Potato nutritional management changes and challenges.
- IFA. 2002 *Los fertilizantes y su uso*. In: FAO, editor. Roma. p.
- FAO. 2008. Año Internacional de la papa 2008.
- Burt, C., O Konnor, K. y Ruehr, T. 1998. *Fertirrigation*. University, C.P.S. (Ed.). California.
- Burt, C.S., S. 1994. *Drip and Microirrigation for trees, Vine, and row crops*. California.
- Muñoz, A. 2010. *Cultivo de papa*.
- PROINPA, (1998). *Promoción Investigación de Productos Andinos. Programa de Investigación de la Papa, Informe Compendio del Programa de Investigación de la Papa. Documento de Trabajo 9/95. Cochabamba - Bolivia*.
- CEPA (Centro de Ecología y Pueblos Andinos), (2008). *La Papa Aporte de los Andes a la Alimentación Mundial, Oruro – Bolivia*. 223 p.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de calidad agronómica del suelo parcelario.



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y
AGUAS (LAFASA)



INTERPRETACION DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia	Valoración
pH	---	8.38	6.6 a 7.3	Fuertemente Alcalino
CE	mmho/cm	1.29	0 a 0.5	Moderadamente Salino
MO	%	2.29	2 a 4	Medio
Nt	%	0.17	0.10 a 0.20	Medio
P ₂ O ₅	ppm	29.9	7 a 14	Alto
K	meq/100 g Suelo	2.4	0.2 a 1.5	Alto
Ca	meq/100 g Suelo	25.1	4 a 20	Alto
Mg	meq/100 g Suelo	2.9	1 a 10	Medio
Na	PSI	5.4	< 15	No Sódico
CIC	meq/100 g Suelo	32.7	10 a 15	Muy Alto
Ca/Mg	---	8.7	5 a 8	Alto
Ca/K	---	10.3	14 a 16	Bajo
Mg/K	---	1.2	1.8 a 2.5	Bajo

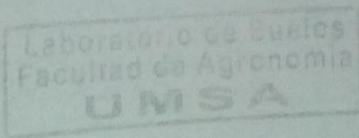
PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable

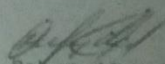
El pH es fuertemente alcalino debido a la presencia de sales denotado por el valor de la conductividad eléctrica. Esta condición determina que se tenga inmovilización de Hierro, Manganeseo, Zinc y Boro (Fe, Mn, Zn y B).

La presencia de sodio incide en la moderada salinidad del suelo, sin embargo es neutralizada por los cationes de cambio (Ca, Mg y K).

La Capacidad de Intercambio Catiónico es la capacidad que el suelo tiene de retener nutrientes y es considerada muy alto, debido a la presencia de calcio que se encuentra en valores altos. Asimismo puede deberse al tipo de arcilla como la Motmorillonita, sin embargo el factor más limitante es el pH muy fuertemente alcalino debido a la elevada saturación de bases, especialmente Calcio.

La relación Ca/Mg es alto señalando que se tiene mucho Ca en forma de carbonatos de calcio. La relación Ca/K, y Mg/K son bajos lo que significa que se tiene demasiado niveles de potasio. Se recomienda ver las necesidades de los cultivos para determinar la disponibilidad de nutrientes del suelo.




 Ph.D. Roberto Miranda Casas
 LABORATORIO DE SUELOS

Fuente: Laboratorio de suelos facultad de agronomía – UMSA

Anexo 2. Porcentaje de emergencia.

N	Variedad	Tiempo de emergencia al 90%	Tiempo de emergencia al 100%
1	Waycha	25 días	35 días
2	Imilla Negra	30 días	40 días

Fuente: Propia (2019).

Anexo 3. Promedio de altura de planta de papa (cm).

Días después de la siembra										
TRATAMIENTO	12	19	26	40	49	60	71	81	97	106
.....promedio (cm).....										
V.I.Negra	13	17	23	35	44	65	89	105	113	118
V.Waycha	13	18	24	36	45	65	83	91	100	102

Fuente: Propia (2019).

Anexo 4. Promedio de número de tubérculos por planta (N° tubérculos/planta).

Variedad	Variables	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Huaycha	# tuberculos	16	17,81	6,10	34,25	11	33,00
	1ra	15	576,41	233,32	40,48	122,7	967,2
	2da	16	298,25	159,15	53,36	76,2	738,00
	3ra	15	181,63	100,96	55,59	54,6	400,00
	4ta	15	69,93	40,92	58,51	13,8	137,30
	5ta	16	30,86	19,67	63,72	5,8	64,90
	Peso (g).	16	1105,39	357,33	32,33	506,9	1729,40
	kg	16	1,10	0,37	33,33	0,51	1,73
Imilla negra	# tuberculos	16	41,56	12,86	30,94	26	65,00
	1ra	16	1132,92	394,98	34,86	409,8	1881,90
	2da	16	417,64	115,77	27,72	244,2	722,80
	3ra	16	368,98	149,85	40,61	182,6	622,20
	4ta	16	195,70	97,00	49,57	93,7	447,40
	5ta	16	98,36	53,62	54,51	20	212,00
	Peso (g).	16	2213,60	462,23	20,88	1408,1	2958,40
	kg	16	2,21	0,46	20,88	1,41	2,96

Fuente: Propia (2019).

Anexo 5. Costos de producción

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	CANTIDAD	TOTAL (Bs)
1. INSUMOS				
Semilla de papa var. Waycha	Qq	300	25	8750,00
Semilla de papa var. Imilla Negra	Qq	300	25	8750,00
Biol	litro	2	120	240,00
Fertilizante concentrado NPK insecticida Karate (2 aplicaciones)	Empaque(NPK frasco (250 ml)	70	34	2380,00
		85	2	170,00
Subtotal				18.150,00
2. PREPARACIÓN DEL TERRENO				
Aplicación de abono orgánico	jornal	80	3	240,00
Arada con tractor	horas	100	3	300,00
Rastrado y nivelado con tractor	horas	100	2	200,00
Subtotal				740,00
3. SIEMBRA				
Surcado y tapado con tractor	horas	100	4	400,00
Colocado de semilla de papa	jornal	80	6	480,00
Sub total				880,00
4. LABORES CULTURALES				
Riego	jornal	60	17	1.020,00
Aporque con tractor	hora	200	1	200,00
Desyerbe	jornal	80	4	320,00
Control fitosanitario	jornal	80	2	160,00
sub total				1.700,00
5. COSECHA Y POS-COSECHA				
Cosecha de papa	jornal	100	30	3.000,00
Pos-cosecha	jornal	80	20	1.600,00
Subtotal				4.600,00
5. OTROS GASTOS				
Bolsas red	bolsa	880	1	880,00
alimentos y refrigerios	servicios	1300	1	1.300,00
Transporte	Bolsa	880	2	1.760,00
Subtotal				3.940,00
Total				29.650,00

Fuente: Propia (2019)



Fuente. Reporte fotográfico EECH (2019).

Anexo 6. Primer y segundo aporque en el cultivo de papa en parcela experimental.



Fuente: Reporte fotográfico EECH (2019).

Anexo 7. Aplicado de insecticida



Fuente: reporte fotográfico EECH (2019)

Anexo 8. Medición de altura de la planta.



Fuente: reporte fotográfico EECH (2019)

Anexo 9. Variedad imilla negra en floración al 80%.



Fuente: Reporte fotográfico EECH (2019)

Anexo 10. Madurez fisiológica variedad Waycha.



Fuente: reporte fotográfico EECH (2019).

Anexo 11. Muestreo antes de la cosecha variedad Waycha.



Fuente: Reporte fotográfico EECH (2019)

Anexo 12. Cosecha variedad Imilla Negra.



Fuente: reporte fotográfico EECH (2019)

Anexo 13. Después de la cosecha variedad Imilla Negra.



Fuente: Propia (2019).

Anexo 14. Post cosecha clasificación por tamaño variedad Waycha.



Fuente: reporte fotográfico EECH (2019).

Anexo 15. Pesado por tamaño variedad Wayacha en laboratorio.



Fuente: Reporte fotográfico EECH (2019).

Anexo 16. Toma de datos por tamaño en laboratorio



Fuente: Reporte fotográfico EECH (2019).

Anexo 17. Pesado de la papa para el rendimiento total de variedad Imilla Negra.



Fuente: reporte fotográfico EECH (2019).

Anexo 18. Pesaje de tubérculos de papa (Evaluación de rendimiento).