

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**APLICACIÓN DE AGUA MAGNETIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE
PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE
PATACAMAYA**

ALFREDO FÉLIX LAURA MAMANI

La Paz – Bolivia

2017

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**APLICACIÓN DE AGUA MAGNETIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE PATACAMAYA**

Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el Título de:
Ingeniero Agrónomo

ALFREDO FÉLIX LAURA MAMANI

Asesores:

Ing. Ph. D. René Chipana Rivera

Ing. Agr. Carlos Mena Herrera

Comité Revisor:

Ing. M.Sc. Eduardo Chilón Camacho

Ing. M.Sc. René Terán Céspedes

Ing. Agr. Erik Murillo Fernández

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador:



DEDICATORIA

A mis queridos padres Félix y Albertina, quienes me apoyaron incondicionalmente y forjaron el espíritu sin miedo y dispuesto a luchar por los sueños.

A mis queridos hermanos:

Mauge quien me impulsa a seguir adelante y no deja que flaquee, Franklin, José Luis, Gabriela a quienes deseo que superen toda adversidad y que éste paso les motive a una constante superación.

Fácil no fue, más sigo aquí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme sabiduría para culminar mis estudios.

Expreso mi sincera gratitud a la Universidad Mayor de San Andrés, a la Facultad de Agronomía y en especial a la Estación Experimental de Patacamaya, por haberme facilitado un espacio para la ejecución de éste estudio, asimismo a los docentes por sus enseñanzas durante mi formación profesional.

A mis asesores Ing. Ph. D. René Chipana Rivera e Ing. Agr. Calos Mena Herrera por no haber perdido la fe en el trabajo de tesis, por su paciencia, orientación, colaboración, sugerencias realizadas durante la investigación y redacción de éste documento.

Agradezco la confianza por parte de mis revisores: Ing. M.Sc. Eduardo Chilón Camacho, Ing. M.Sc. René Terán Céspedes e Ing. Agr. Erik Murillo Fernández por darle un tiempo a la revisión y corrección del presente documento.

Al Ing. M.Sc. Genaro Serrano por la confianza y consejos realizados para el desarrollo del documento.

A la Ing. Agr. Rosario Chura Villacorta por su amistad y por su valiosa guía y orientación.

Un especial agradecimiento a mis queridos padres Félix y Albertina. A mis queridos hermanos: Mauge, Franklin, José Luis y Gabriela que siempre me brindaron su apoyo.

A mis amigos de la carrera: Alejandra Núñez, Candy Romero, Fabiola Quispe, Gabriela Apaza, Tatiana Cantuta, Alejandro Vaquiata, Erwin Castillo, Héctor Fajardo, Jorge Calcina, Keny Sonco, Lucio Carita, Milán Achacollo, Raúl Condori, Martín Rivera y Diego Quispe, por compartir su amistad durante la carrera.

Lo que no me mata, me hace más fuerte.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. El campo magnético	4
2.2. Aplicación de campos magnéticos en la agricultura	5
2.2.1. Los campos magnéticos y las plantas.....	5
2.2.2. Los campos magnéticos y el agua	6
2.2.2.1. Proceso de los cambios en las propiedades físico-químicas del agua.....	7
2.2.2.2. Efectos del agua magnetizada en la nutrición de las plantas	8
2.2.2.3. Beneficios del tratamiento magnético del agua en la agricultura	9
2.2.3. Efectos del agua magnetizada en el suelo.....	10
2.3. Importancia y Distribución del cultivo de papa	10
2.4. Producción a nivel mundial	11
2.5. Descripción del cultivo	12
2.5.1. Clasificación taxonómica	12
2.5.2. Características Morfológicas.....	12
2.5.3. Características fenológicas	14
2.5.4. Variedades	15
2.5.5. Características nutricionales	16
2.5.6. Requerimientos del cultivo.....	17
2.5.7. Manejo agronómico del cultivo.....	19
2.5.7.1. Preparación del suelo	19
2.5.7.2. Época y densidad de siembra	20

2.5.7.3. Labores culturales	20
2.5.7.4. Riego	21
2.5.7.4.1. Riego por goteo	22
2.5.7.5. Plagas y Enfermedades	23
2.5.7.6. Cosecha	24
2.5.7.7. Rendimiento	24
3. LOCALIZACIÓN	25
3.1. Ubicación geográfica	25
3.2. Características climáticas	26
3.3. Suelo	27
3.4. Vegetación.....	27
3.5. Características fisiográficas	27
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
4.1. Materiales y equipos	28
4.1.1. Material vegetal	28
4.1.2. Material de Campo	28
4.1.3. Material de escritorio	28
4.1.4. Sistema de riego.....	28
4.1.5. Equipo magnetizador	29
4.2. Metodología	29
4.2.1. Procedimiento experimental.....	29
4.2.2. Diseño experimental	29
4.2.2.1. Modelo lineal aditivo	30
4.2.2.2. Formulación de tratamientos.....	30
4.2.3. Croquis de la Parcela Experimental	31
4.2.3.1. Características del área experimental.....	31
4.2.4. Procedimiento de campo	32
4.3. Variables de Respuesta	39
4.3.1. Variables agronómicas	39
4.3.1.1. Días a la emergencia	39

4.3.1.2. Altura de planta.....	39
4.3.1.3. Diámetro de tallo.....	39
4.3.1.4. Número de tubérculos por planta	39
4.3.1.5. Peso de los tubérculos por planta.....	40
4.3.1.6. Rendimiento	40
4.3.1.7. Evaluación económica preliminar de los tratamientos.....	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
5.1. Comportamiento climático de la zona de estudio	41
5.1.1. Temperatura	41
5.1.2. Precipitación	43
5.2. Efecto del agua magnetizada sobre las variables agronómicas	45
5.2.1. Días a la emergencia	45
5.2.2. Altura de la planta a la cosecha	47
5.2.3. Diámetro del tallo a la cosecha	50
5.2.4. Número de tubérculos por planta	53
5.2.5. Peso promedio por tubérculo (g.).....	56
5.2.6. Rendimiento de papa (Mg/ha).....	60
5.3. Análisis económico preliminar de los tratamientos	64
6. CONCLUSIONES	67
7. RECOMENDACIONES	69
8. BIBLIOGRAFÍA	70
Anexos	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición nutritiva por 100 gramos de porción comestible	17
Cuadro 2. Formulación de tratamientos	30
Cuadro 3. Análisis físico químico del suelo experimental antes de la siembra	32
Cuadro 4. Análisis de las propiedades físico químicas del agua	35
Cuadro 5. Determinación teórica del Requerimiento y Frecuencia de riego (programa CROPWAT).....	36
Cuadro 6. Análisis de las propiedades físico químicas del suelo experimental despues de la Cosecha	38
Cuadro 7. Análisis de varianza para altura de la planta a la cosecha.....	48
Cuadro 8. Prueba de Duncan para altura de la planta a la cosecha.....	48
Cuadro 9. Análisis de Varianza para diámetro del tallo a la cosecha	51
Cuadro 10. Prueba de Duncan para diámetro del tallo a la cosecha	51
Cuadro 11. Análisis de Varianza para el número de tubérculos por planta.....	53
Cuadro 12. Prueba Duncan para el número de tubérculos por planta	54
Cuadro 13. Análisis de varianza para el peso promedio por tubérculo (g.).....	57
Cuadro 14. Prueba Duncan para el peso promedio por tubérculo	57
Cuadro 15. Análisis de varianza para el rendimiento de papa (Mg/ha).....	61
Cuadro 16. Prueba Duncan para el rendimiento de papa (Mg/ha)	61
Cuadro 17. Resumen de la Evaluación económica	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Municipio Patacamaya	25
Figura 2. Límites geográficos del Municipio Patacamaya.....	26
Figura 3. Croquis experimental de la parcela	31
Figura 4. Registro mensual de temperaturas durante el desarrollo del cultivo en el Municipio de Patacamaya (SENAMHI, 2014-2015)	41
Figura 5. Registro diario de temperaturas mínimas en el Municipio de Patacamaya (SENAMHI, 2014-2015).....	42
Figura 6. Registro de precipitaciones durante el desarrollo del cultivo en el Municipio de Patacamaya (SENAMHI, 2014-2015)	44
Figura 7. Porcentaje de emergencia de las semillas de papa.....	46
Figura 8. Altura promedio de la planta a la cosecha.....	49
Figura 9. Diámetro promedio del tallo a la cosecha.....	52
Figura 10. Número promedio de tubérculos por planta.....	55
Figura 11. Porcentaje de tubérculos por categoría y tratamiento	59
Figura 12. Rendimientos por tratamiento en Mg/ha.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis físico químico del suelo experimental antes de la siembra	¡Error!
Marcador no definido.	
Anexo 2. Análisis de las propiedades físico químicas del agua sin magnetizar	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3. Análisis de las propiedades físico químicas del agua magnetizada ..	¡Error!
Marcador no definido.	
Anexo 4. Determinación teórica del Requerimiento y Frecuencia de riego (programa CROPWAT).....	80
Anexo 5. Análisis físico químico del suelo experimental después de la cosecha (Tratamiento testigo)	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 6. Análisis físico químico del suelo experimental después de la cosecha (Tratamiento con riego por goteo con agua sin magnetizar) .	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 7. Análisis físico químico del suelo experimental después de la cosecha (Tratamiento con riego por goteo con agua magnetizada)	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 8. Tabla de Ingresos y Egresos para el cultivo de papa sin riego (testigo)	82
Anexo 9. Tabla de Ingresos y Egresos para el cultivo de papa con sistema de riego por goteo con agua sin magnetizar	84
Anexo 10. Tabla de Ingresos y Egresos para el cultivo de papa con sistema de riego por goteo con agua magnetizada	86
Anexo 11. Equipo Magnetizador para 1 hectárea.....	88
Anexo 12. Accesorios del Sistema de riego por goteo para 1 hectárea.....	89
Anexo 13. Procedimiento Experimental (Fotografías)	90

RESUMEN

APLICACIÓN DE AGUA MAGNETIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE PATACAMAYA

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo originario de los Andes, su alto contenido de carbohidratos la convierte en una fuente importante de energía por lo que es cultivada en todo el mundo. Sin embargo y a pesar de su gran importancia en nuestro país, la producción y productividad de éste cultivo se encuentra entre los más bajos debido a las condiciones en las que se cultiva, con falta de agua de riego, suelos pobres en materia orgánica, variedades con bajo potencial de rendimiento, semilla de baja calidad y presencia de plagas y/o enfermedades. En este sentido, el tratamiento del agua con campos magnéticos para la irrigación de los cultivos se convierte en una de las tecnologías modernas más valiosas que pueden ayudar al ahorro del agua de riego y a la reducción de la acumulación de sal en el suelo, siendo que según varios autores la exposición de las plantas al agua magnetizada es altamente efectiva para aumentar sus características de crecimiento y rendimiento. Es así, que en la presente investigación se evaluaron los efectos de la aplicación de agua magnetizada sobre la producción de papa en la estación experimental de Patacamaya. El estudio inició con el establecimiento de la parcela experimental, se utilizó un sistema de riego por goteo y un equipo magnetizador de acuerdo a los tratamientos, para la siembra se empleó semilla de papa certificada de la variedad Waych'a paceña. Entre los resultados obtenidos se observó que los tratamientos en los que se utilizó el sistema de riego por goteo con agua magnetizada alcanzó los mayores crecimientos en altura y mejores diámetros de tallo con 91,1 cm y 1,8 cm respectivamente frente al tratamiento que obtuvo riego por goteo con agua sin

magnetizar y al tratamiento a secano (testigo). Con relación al número de tubérculos por planta, los tratamientos que recibieron riego por goteo con agua magnetizada y riego por goteo con agua sin magnetizar presentaron una cantidad similar con 22 y 21 tubérculos, superior al número obtenido con el tratamiento testigo (14). El mayor peso por tubérculo se consiguió con el tratamiento que recibió riego por goteo con agua magnetizada con 125 g, casi el doble de peso de los tubérculos regados con el mismo sistema pero con agua común que reportaron un promedio de 70 g y tres veces más con relación al tratamiento testigo que sólo registró 38 g de peso por tubérculo. Referido al rendimiento, el tratamiento correspondiente al riego por goteo con agua tratada magnéticamente alcanzó el máximo promedio con 29,60 Mg/ha, respecto del tratamiento que recibió riego con agua normal que alcanzó 16,65 Mg/ha y del tratamiento que no recibió riego adicional (testigo) que obtuvo 5,65 Mg/ha. Los resultados de las relaciones Beneficio/Costo mostraron rentabilidad en los tratamientos donde se utilizó sistema de riego por goteo independientemente del tipo de agua, no obstante, las mejores relaciones Beneficio/Costo fueron reportadas por el tratamiento donde se aplicó agua magnetizada para el riego con Bs 2,35/100, deduciéndose, que por cada 1 boliviano invertido con éste tipo de tratamiento se obtuvo una ganancia de Bs 1,35/100.

ABSTRACT

APPLICATION OF MAGNETIZED WATER FOR THE PRODUCTION OF POTATO (*Solanum tuberosum* L.) IN THE EXPERIMENTAL STATION OF PATACAMAYA

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is a crop native to The Andes, its high carbohydrate content makes it an important source of energy and is cultivated worldwide. Nevertheless, and despite its great importance in our country, the production and productivity of this crop is among the lowest because to the conditions under which it is cultivated, with lack of irrigation water, poor soils in organic matter, varieties with low yield potential, low quality seed and presence of pests and / or diseases. In this sense, the treatment of water with magnetic fields for the irrigation of the crops becomes one of the most valuable modern technologies that can help the saving of irrigation water and the reduction of the accumulation of salt in the soil, being that according to several authors the exposure of plants to magnetized water is highly effective to increase their growth and yield characteristics. Thus, in the present investigation the effects of the application of magnetized water on the production of potatoes in the experimental station of Patacamaya were evaluated. The study began with the establishment of the experimental plot, a drip irrigation system and a magnetizing equipment were used according to the treatments. For the planting, was used certified potato seed of the Waych'a paceña variety. Among the results, it was observed that the treatments using the drip irrigation system with magnetized water reached the highest growth in height and better stem diameters with 91.1 cm and 1.8 cm, respectively, compared to the treatment obtained drip irrigation with unmagnetized water and dry land treatment (control). Regarding the number of tubers per plant, treatments that received drip irrigation with magnetized water and drip

irrigation with unmagnetized water presented a similar amount with 22 and 21 tubers, higher than the number obtained with the control treatment (14). The highest weight per tuber was obtained with the treatment that received drip irrigation with magnetized water with 125 g, almost double the weight of the tubers irrigated with the same system but with common water that reported an average of 70 g and three times more in relation to the control treatment that registered only 38 g of weight per tuber. Regarding yield, treatment corresponding to drip irrigation with magnetically treated water reached the average maximum with 29.60 Mg/ha, compared to the treatment that received irrigation with normal water reaching 16.65 Mg/ha and treatment that did not received additional irrigation (control) that obtained 5.65 Mg/ha. The results of the Profit/Cost ratios showed a profitability in the treatments where a drip irrigation system was used, regardless of the type of water, however, the best Profit/Cost ratios were reported for the treatment where magnetized water was applied for irrigation with 2.35/100 Bs, deducing that for every 1 boliviano invested with this type of treatment a gain of 1.35/100 Bs was obtained.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo originario de los Andes, su alto contenido de carbohidratos la convierte en una fuente importante de energía por lo que es cultivada en todo el mundo. Los principales productores de papa a nivel mundial son China, Holanda, Rusia, Estados Unidos, India, Polonia, Ucrania, Canadá, Perú, Argentina, Chile y Bolivia entre otros.

En Bolivia se cultiva aproximadamente entre 125 a 130.000 has, distribuidos en seis departamentos andinos (La Paz, Cochabamba, Potosí, Oruro, y parte de Chuquisaca y Tarija), de los cuales, las mayores superficies cultivadas están en los departamentos de La Paz (30.000 has), Potosí (28.000 has) y Cochabamba (26.000 has) (INE, 2011).

Sin embargo y a pesar de la gran importancia que tiene éste cultivo en el país, la producción y productividad es baja, con un rendimiento promedio de 6 ton/ha (PROINPA, 2011), debido a las condiciones en las que se cultiva, con falta de agua de riego, suelos pobres en materia orgánica, variedades con bajo potencial de rendimiento, semilla de baja calidad y presencia de plagas y/o enfermedades.

En este sentido, el tratamiento del agua con campos magnéticos se convierte en fuente de investigación y experimentación con promisorias potencialidades aplicadas al cultivo de papa. Pues, resultados obtenidos por varios autores demuestran que la irrigación con agua magnetizada es una de las tecnologías modernas más valiosas que pueden ayudar al ahorro del agua de riego y a la reducción de la acumulación de sal en el suelo (Mulook Al-Khazan *et al.*, 2011), siendo que la exposición de las plantas a éste tipo de agua es altamente efectiva para aumentar sus características de crecimiento y rendimiento (Hozayn M. *et al.*, 2011).

1.2. Justificación

En la actualidad, aproximadamente 3.600 km³ de agua dulce son extraídos para consumo humano, es decir 580 m³ per cápita por año. La agricultura es obviamente el sector que consume más agua, representando globalmente alrededor del 69% de toda la extracción, el consumo doméstico alcanza más o menos 10% y la industria el 21% (FAO, Agricultura Mundial: hacia 2015-2030). Del total extraído cada año, cerca de la mitad es evaporado y transpirado por las plantas, la otra mitad recarga el agua subterránea, fluye superficialmente o se pierde como evaporación no productiva.

El agua que necesitan los cultivos de papa generalmente varía entre 0,35 y 0,8 m³ para producir 1 kg de materia seca, siendo de 4 a 11 kg/m³ la productividad del agua para rendimiento de tubérculos frescos que contengan cerca de 75% de humedad (FAO, 2012).

Por tanto, un gran desafío para el sector agrícola es producir más alimentos con menos agua y entre otras medidas, implementar tecnologías sencillas orientadas a mejorar los rendimientos de los cultivos por unidad de área utilizada, aplicando alternativas ecológicas que brinden a la agricultura ventajas, no sólo en términos de rendimiento del cultivo sino también en ahorro de agua.

Es así, que el presente estudio considera que la cantidad de agua necesaria para producir una tonelada de producto puede reducirse significativamente aplicando la tecnología de estimulación magnética a través de agua de riego, para mejorar las condiciones de los cultivos y el uso eficiente del agua, especialmente sobre un cultivo de interés agroindustrial como lo es la papa, hecho que redundaría en un menor uso del agua y una maximización en las cosechas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar los efectos de la aplicación de agua magnetizada sobre la producción de papa (*Solanum tuberosum* sp. L.) en la estación experimental de Patacamaya.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de la aplicación de agua magnetizada en el comportamiento agronómico del cultivo de papa.
- Estudiar el efecto de la aplicación de la tecnología de estimulación magnética de agua de riego en el rendimiento de papa.
- Realizar una evaluación económica preliminar de los tratamientos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El campo magnético

El planeta Tierra cuenta con un centro de hierro fundido en movimiento, por esta razón, el planeta no solo cuenta con dos polos geográficos, también cuenta con dos polos magnéticos (Pittman, 1963). El campo magnético terrestre ejerce una fuerza que varía de 30 hasta 60 microteslas (μT) (equivalente a 0,3 y 0,6 Gauss) que se originan por el movimiento y convección de los fluidos en el interior de la tierra (Occhipinti et al., 2014), fuerza que según cálculos científicos se ha reducido en más del 9% en el campo magnético terrestre (Wang et al., 2015).

El campo magnético tiene una influencia decisiva sobre los seres vivos. La vida aparece sobre la tierra cuando aparece el campo magnético, pues sin él no haría vida organizada. Los reinos vegetal y animal sobre la superficie terrestre están profundamente afectados (aparición y extinción de especies), según las variaciones e inversiones del campo magnético terrestre, por tanto es un hecho que todos los organismos vivos se encuentran bajo la influencia del campo magnético de la tierra (Maffei, 2014).

Siendo que la intensidad del campo magnético determina su efecto en cuerpos biológicos (Occhipinti et al., 2014), los campos magnéticos pueden clasificarse como altos y bajos según su intensidad. Los campos magnéticos superiores a los 1.000 Gauss son considerados de alta intensidad. Los de baja intensidad son aquellos que se encuentran debajo de los 100 nanoteslas (nT) (equivalente a 0,001 Gauss) hasta menos de 1.000 Gauss (Heldman, 2003; Maffei, 2014).

También se encuentran los campos magnéticos artificiales no ionizantes que van hasta los 10 MHz, entre los que se encuentran los campos magnéticos estáticos producidos por imanes permanentes y por bobinas alimentadas por corriente directa; así como los campos magnéticos variables en el tiempo producidos con bobinas alimentadas con corriente alterna (Pietruszewski et al., 2010).

2.2. Aplicación de campos magnéticos en la agricultura

Los tratamientos físicos con campos electromagnéticos usados en la agricultura, son Estimulaciones externas no invasivas y de bajo costo (Domínguez *et al.*, 2010); que a menudo modifican algunos procesos fisiológicos y bioquímicos en las semillas y en las plantas (Podleśny *et al.*, 2005a; Vashisth y Nagarajan, 2009).

2.2.1. Los campos magnéticos y las plantas

Flórez *et al.*, (2012) y Galland *et al.*, (2005) indican que se ha demostrado que las plantas reaccionan de forma distinta ante estímulos magnéticos y geomagnéticos.

El efecto de un campo magnético sobre las plantas ha sido atribuido a diferentes mecanismos, tales como el incremento de la actividad enzimática y el aumento de la eficiencia de los procesos relacionados con la división celular. Sin embargo, la mayoría de los investigadores coinciden en afirmar que esto se debe inicialmente a cambios que se producen en la permeabilidad de las membranas y en la sensibilidad de los mecanismos de transporte a través de las mismas, ya que muchos de los iones involucrados en los procesos bio-eléctricos son movilizados muy eficientemente en presencia de un campo electromagnético (Heredia *et al.*, 2009).

El campo geomagnético influye en el movimiento y absorción de elementos debido a la movilidad efectiva de la membrana (Goodman *et al.*, 1993); actuando sobre la materia y los organismos biológicos en cada etapa de desarrollo desde la germinación (Domínguez *et al.*, 2010); teniendo efectos sobre el metabolismo de las plantas en función de su aplicación, intensidad y condiciones ambientales (Cakmak *et al.*, 2010); explicándose así la magneto-recepción en las plantas como la transferencia de energía en la materia que contiene radicales libres, misma que produce una bio-estimulación en sus procesos fisiológicos (Galland y Pazur, 2005).

Los campos magnéticos incrementan la energía contenida en los cloroplastos debido a sus propiedades paramagnéticas. Esto provoca que los átomos de los cloroplastos se alinien hacia la dirección del campo magnético externo lo que consecuentemente acelera el metabolismo y la germinación por la acumulación de energía (Moussa, 2011). Por otro lado, Goodman *et al.*, (1995) destacan la influencia de campos magnéticos a nivel celular; donde ocurre un aumento de la permeabilidad de la membrana plasmática y transformaciones de células apicales dependiendo de la intensidad del campo magnético (Nanushyan *et al.*, 2004; Pietruszewski y Martínez, 2015).

Para Moussa (2011), el riego de un cultivo común con agua magnetizada incrementa los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, clorofila b y carotenoides), la actividad fotosintética y la eficiencia en la translocación de los foto-asimilados. Los contenidos de clorofila tienen una importancia básica en la productividad de las plantas, bajos contenidos de clorofila, menores que 2 mg dm^{-2} por superficie de hoja, causan una insuficiente absorción de luz solar y, por ende, baja productividad vegetal. Aproximadamente 3 mg de clorofila por dm^{-2} por superficie de hoja asegura el óptimo (95-97%) consumo de luz de sol absorbido por las plantas (Rochalska, 2005 citado por Hozayn *et al.*, 2013).

2.2.2. Los campos magnéticos y el agua

El tratamiento magnético del agua es una técnica prometedora para alcanzar altos valores de eficiencia del uso del agua debido a su efecto en algunas propiedades físicas y químicas del agua y el suelo (Noran *et al.*, 1996; Maheshwari & Grewal, 2009 citados por Hozayn *et al.*, 2013).

El tratamiento magnético del agua provoca en ésta cambios en diferentes parámetros físicos y químicos, que la hacen más apropiada para diferentes usos. Se ha reportado que éste tratamiento, cambia principalmente los enlaces de hidrógeno, la polaridad, la tensión superficial, la conductividad eléctrica, el pH y la solubilidad de

las sales (Amiri & Dadkhah, 2006; Ozeki & Otsuka, 2006 citados por Hozayn *et al.*, 2013).

Según Hilal *et al.*, (2013), cuando el agua pasa por un campo magnético, gana un momento magnético que será retenido de 24 a 48 horas, dependiendo de la intensidad del campo magnético, la composición de las sales disueltas y la velocidad en que cruza la fuente del campo.

Por otro lado, REDVET (2009) afirma que cuando el agua se somete a las cargas magnéticas incluso durante fracciones de segundo, se produce una modificación de la tensión superficial y viscosidad, se altera la conductividad eléctrica, se estimula la coagulación de las partículas sólidas, aumenta la concentración de oxígeno y se incrementa su actividad biológica. Sin embargo, éstas variaciones en las propiedades del agua, según los mismos autores, dependerán de:

- a. La intensidad y el gradiente del campo magnético.
- b. La velocidad y el movimiento del agua.
- c. El tamaño y forma de los polos.
- d. La instalación.
- e. La presencia de partículas coloides en el agua.
- f. La Concentración de iones.

2.2.2.1. Proceso de los cambios en las propiedades físico-químicas del agua

Cuando una corriente de agua circula a través de un campo magnético estacionario, sus moléculas se ordenan, es decir que el agua cuya composición es H₂O, sigue teniendo la misma composición pero sus moléculas se han ordenado o alineado.

El agua magnetizada se basa en los principios de la magneto hidrodinámica; donde al pasar a través de un campo magnético las partículas se cargan con energía. Es decir, las cargas positivas y negativas son atraídas por la fuerza del campo hacia uno de los extremos magnéticos (polos) (Abdelaziz y Abdelrazig, 2014).

Durante el reordenamiento de las partículas por el efecto de la fuerza magnética, la velocidad de las mismas incrementa, lo que provoca la colisión entre las moléculas y su posterior ruptura en agregados más pequeños, haciéndola más asimilable para la planta (Carbonell *et al.*, 1996).

2.2.2.2. Efectos del agua magnetizada en la nutrición de las plantas

Cuando el agua fluye en presencia de un campo magnético con una densidad de flujo y velocidad determinados, surgen cambios de diferentes parámetros en el líquido como pH, tensión superficial, solubilidad, densidad óptica y conductividad eléctrica (REDVET, 2009). Dichos cambios incrementan la absorción de nutrientes por la planta, mejorando así su rendimiento productivo (Babu, 2010; Pang y Shen, 2013).

El tratamiento magnético del agua, de acuerdo a DSS (s.f.) genera:

- **Regulación de pH.** El agua tratada magnéticamente genera un efecto tampón sobre el pH, es decir tiende a elevar los pH ácidos y a bajar los pH básicos, lo que a su vez afecta enormemente al proceso de absorción, ya que pH extremos producen en los iones reacciones químicas no aptas para la absorción.
- **Disminución de la tensión superficial.** El agua tratada magnéticamente tiene una menor tensión superficial que el agua sin tratar. Al disminuir ésta, se facilita la ósmosis, ya que la tensión superficial supone una barrera para que los iones atraviesen la raíz.
- **Acción ionizante.** Otro de los efectos del tratamiento magnético es favorecer la ionización, es decir se favorecen los iones frente a las sales. Esto ayuda a la absorción ya que son los iones las formas en las que la planta absorbe los nutrientes.

2.2.2.3. Beneficios del tratamiento magnético del agua en la agricultura

El agua magnetizada al utilizarla en riego puede producir según Rojas (2010): aumento del 50% de la producción de cosechas, reducción en la acumulación de la sal en el suelo, promueve una ósmosis mejor de la planta, mejor crecimiento de las raíces, mejor eficiencia del fertilizante, plantas más fuertes y más sanas y aumenta la capacidad de intercambio catiónico.

Relacionado con la fisiología de las plantas, DSS (s.f.) indica que varios experimentos evidenciaron los beneficios del tratamiento magnético del agua aplicado en riego agrícola por lo que cita los siguientes:

- ✓ Facilita la ósmosis de la planta, al disminuir la tensión superficial del agua.
- ✓ Acelera el crecimiento de las plantas.
- ✓ Aumenta el tamaño de los frutos.
- ✓ Aumenta el porcentaje de brotación, y del Brix.
- ✓ Aumenta la capacidad de absorción de las raíces.
- ✓ Aumenta la resistencia hacia algunas plagas y enfermedades.
- ✓ Mejora la solubilidad de los nutrientes.
- ✓ Mejora la durabilidad de las cosechas en el proceso de conservación o almacenamiento.
- ✓ Disminuye la presencia de hongos trasmisibles a través de la semilla.
- ✓ Varía el contenido de algunos macro y micro-elementos en las hojas.
- ✓ Aumenta las sustancias orgánicas en las plantas.
- ✓ Se contrarresta el efecto de las condiciones climáticas adversas durante la etapa de semilleros.
- ✓ Se ahorra hasta el 50% del agua utilizada para el riego.

2.2.3. Efectos del agua magnetizada en el suelo

Al utilizar campos magnéticos se acelera la acción dinámica de los microorganismos benéficos del suelo, realizando así un proceso de rehabilitación químico-biológico sobre suelos afectados por salinidad, reduciendo el tiempo y aumentando la eficiencia del mejoramiento a través de la actividad biológica (CVC-UNIVALLE, 2009).

Zúñiga *et al.*, (2011) afirma que la aplicación de estímulos electromagnéticos al agua de riego influye en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, con una disminución de la compactación y mejora en su estructura.

Al aplicar campos electromagnéticos alternos al sistema de riego se disminuye la tensión superficial de la solución salina en el suelo, a la vez que se aumenta la solubilidad de las sales y se mejoran los procesos dinámicos de infiltración y movilidad de iones (Mezentsev, 1981; CNEA, 1997 citados por Zúñiga *et al.*, 2011).

El agua tratada con magnetizadores, destapa y rompe el suelo comprimido dando a las raíces libertad de crecer y de absorber los nutrientes más rápidamente, pues por el principio del magneto hidrodinámico se reduce la tensión superficial del agua, creando más solubilidad y penetración lo que estimula a las raíces de las plantas (Rojas, 2012).

2.3. Importancia y Distribución del cultivo de papa

La papa es uno de los cultivos andinos alimenticios de mayor importancia en el mundo, situándose en cuarto lugar de importancia junto al trigo, maíz y arroz constituye un alimento fundamental en la dieta del hombre (PROSUKO, 2000). Es considerado una fuente de ingresos y de seguridad alimentaria especialmente para el habitante andino, ya que puede ser transformado en chuño o tunta, además se

emplea como planta forrajera e industrial suministradora de alimento para ganado y materia prima para la industria de almidón y del alcohol (Villafuente, 2008).

La distribución de las diferentes especies de papa es muy amplia en los Andes y en general en el mundo entero. Actualmente se contabiliza que es un cultivo de importancia económica y social en por lo menos 120 países. Abarca no solamente casi todas las latitudes y continentes, sino igualmente un rango de altura que va desde el nivel del mar hasta 4.300 m.s.n.m. En este sentido es posiblemente el cultivo de mayor versatilidad climática y ecológica (FAO, 2007).

2.4. Producción a nivel mundial

Los principales productores de papa a nivel mundial son China, Holanda, Rusia, Estados Unidos, India, Polonia, Ucrania, Canadá, Argentina, Chile, Perú y Bolivia entre otros.

China produce el 20% del total mundial de papas, gracias a su enorme superficie agrícola. Holanda es uno de los países que más aprecia la papa y es uno de los productores más eficientes del mundo, llegando a producir en algunos lugares hasta 100 T/ha. Argentina también tiene un buen rendimiento en la producción de papa, alcanzando hasta 70 T/ha. Curiosamente en uno de los países de origen como es Bolivia, la producción de papa es muy baja, llegando solamente a las 6 T/ha (Brack, 2009).

Bolivia tiene un área cosechada de 135.600 ha, con un rendimiento de 5,6 toneladas por hectárea. La producción de papa en Bolivia ha crecido en forma constante, gracias al aumento de la productividad principalmente, en el 2007 fue de 755.000 toneladas. Sin embargo, el aumento reciente de la importación de trigo y arroz está creando una fuerte competencia para los productores de papa, especialmente en los mercados urbanos (FAO, 2008).

2.5. Descripción del cultivo

2.5.1. Clasificación taxonómica

Ospina (1995), clasifica al cultivo de papa de la siguiente manera:

División:	Angiospermas
Clase:	Dicotiledóneas
Orden:	Tubifloras
Familia:	Solanácea
Género:	Solanum
Especie:	<i>Solanum tuberosum</i>
Nombre común:	Papa

2.5.2. Características Morfológicas

La planta de papa es de tipo herbáceo cuyo tamaño varía de 0,30 a 1 m de alto, según las variedades, con un crecimiento erecto o semierecto (FAO, 2007).

- **Tubérculo.** Son tallos subterráneos modificados provistos de yemas u ojos y en cada ojo existen normalmente tres yemas (Pardave, 2004). Los ojos del tubérculo morfológicamente corresponden a los nudos de los tallos, las cejas representan a las hojas y las yemas del ojo representan a las yemas axilares.
- **Brotes.** Se originan de las yemas de los tubérculos y son de color blanco o coloreados, el extremo basal del brote forma la parte subterránea del tallo, después de la siembra esta parte produce rápidamente raíces y luego estolones, el extremo apical de origen al tallo y hojas (Huaman, 1986).
- **Estolones.** Son tallos laterales y crecen horizontalmente a partir de las yemas, estos se alargan con varios entrenudos y terminan en una hinchazón que es el futuro tubérculo. Sin embargo, no todos llegan a formar tubérculos, un estolón no

cubierto en el suelo puede desarrollarse en un tallo vertical con follaje normal (Pardave, 2004).

- **Raíces.** Las plantas de papa pueden desarrollarse a partir de una semilla o de un tubérculo, las plantas nacidas de semilla, forman una delicada raíz principal con ramificaciones laterales (Huaman, 1986). La planta originada de un tubérculo es un clon, no tiene raíz principal, forma raíces adventicias, primero en la base de cada brote y luego encima de los nudos en la parte subterránea de cada tallo, ocasionalmente de los nudos de los estolones nacen grupos de 3 a 4 raíces adventistas (Pardave, 2004).
- **Tallos.** El sistema de tallos de la papa consta de tallos aéreos y tubérculos, la planta proveniente de semilla, tiene un solo tallo principal, mientras que las que provienen de tubérculos puede producir varios tallos principales. Las yemas que se forman en el tallo principal a la altura de las axilas de las hojas, pueden desarrollarse para llegar a formar tallos laterales secundarios, estolones e inflorescencia (Huaman, 1986).
- **Hojas.** La hojas son alternas compuestas formadas por raquis, foliolos, pecíolo y peciolulo, cada raquis lleva varios pares de foliolos laterales primarios y un foliolo terminal, están provistas de pelos de diversos tipos que se encuentran también presentes en las demás partes aéreas de la planta (Huaman, 1986).
- **Inflorescencia - flor.** Está dividida generalmente en dos ramas, cada una de las cuales se subdividen en otras ramas, de esta manera se forma una inflorescencia llamada cimosa. Las flores son hermafroditas, el cáliz consta de cinco sépalos que se unen parcialmente en la base, la corola tiene cinco pétalos fusionados en la base para formar un tubo corto, el androceo consta de cinco estambres y el gineceo tiene un solo pistilo (Huaman, 1986).

- **Fruto - Semilla.** El fruto es una baya de forma redonda, alargada ovalada o cónica de color verde, este puede contener de ninguna a 300 o 400 semillas. Las semillas son amarillas o castaño - amarillentas, pequeñas ovaladas o uniformes (Pardave, 2004).

2.5.3. Características fenológicas

En general el periodo vegetativo de las papas dulces es de 160 a 175 días mientras que en las papas amargas es de 170 a 180 días (Canahua, 1991).

- **Emergencia.** Ocurre de los 30 a 35 días después de la siembra depende de la humedad y temperatura del suelo (Canahua, 1991).
- **Formación de estolones.** Ocurre de los 15 a 20 días después de la emergencia (Canahua, 1991). Los primeros tubérculos en formarse son desarrollados generalmente en la parte basal de los estolones y se convierten en dominantes sobre aquellos que se forman después (Cutre, 1992).
- **Inicio de la floración.** Ocurre de los 20 a 25 días después de la emergencia, en las papas amargas la floración se inicia de los 35 a 55 días (Canahua, 1991).
- **Inicio de la tuberización.** Ocurre de los 35 a 40 días después de la emergencia (Canahua, 1991). En este estado la planta se encuentra en su máximo desarrollo vegetativo (mayor índice área foliar) y se produce la translocación de la mayoría de los carbohidratos de la hoja a los órganos de reserva, de esa manera el crecimiento de los tubérculos presenta un carácter exponencial (Resquejo, 1999).
- **Final de la floración.** Ocurre de los 55 a 85 días después de la emergencia, esta fase se inicia cuando la última flor de la planta inicia su marchitamiento y secado (Canahua, 1991).

- **Final de Tuberización.** Ocurre de los 100 a 115 días después de la emergencia, se presenta cuando el último estolón de la planta inicia su engrosamiento distal, esta fase es considerada importante ya que de esta depende la uniformidad del tamaño de los tubérculos y la precocidad de la planta (Canahua, 1991).
- **Madurez Fisiológica.** Ocurre de los 135 a 140 días después de la emergencia, se caracteriza por el cambio de color de las hojas, la piel de los tubérculos se encuentra bien adherida y no se desprende a una simple fricción de los dedos (Canahua, 1991). En esta fase los tubérculos se encuentran maduros y ocurre la senescencia y abscisión de la parte aérea indicando así inicio de la cosecha (Resquejo, 1999).

2.5.4. Variedades

En el altiplano de Bolivia se cultivan con mayor preferencia las variedades que corresponden a *S. tuberosum ssp. andigenum*, conocidas como Waych'a (Waych'a paceña), Imilla Negra, Sutamari; asimismo la Ajanhuiiri (*S. ajanhuiri*) y Lucky (*S. juzepczukii*), esta última destinada exclusivamente a la transformación en tunta (FAO, 2007).

- **Papa Waych'a**

Según Ugarte (2005), es una variedad de la especie *Solanum tuberosum ssp andigena*, se caracteriza por tener un hábito de crecimiento semi-erecto, tallo de color verde con poca pigmentación, flor de color lila con rojo morado, fruto baya globosa de color verde, tubérculo redondo con yemas profundas, la piel es roja con áreas amarillas alrededor de los ojos, madurez tardía de 150 a 180 días y presenta un rendimiento promedio de 25 a 30 ton/ha (PROINPA, 2009).

Para PROINPA (2011) ésta variedad se caracteriza por tener un amplio rango de adaptación, produce mejor en climas templados y fríos, a altitudes entre 1.500 a

4.800 m.s.n.m. con un ciclo vegetativo semitardío entre 140 a 160 días. Los tubérculos tienen forma redondeada tuberosa, ojos profundos, piel rosada con áreas o jaspes blancos. Es una planta erecta de tallo grueso de color verde claro con estrías café-rosadas, de macollaje denso, foliolos medianos, radícula gruesa y tiene flor rosada.

Según Quiroga (2008), es una variedad tolerante al nematodo falso rosario de la papa (*Nacobbus aberrans*). Presenta ligera tolerancia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Se cultiva en zonas con alturas entre 2.500 a 3.800 m.s.n.m. de los departamentos de Cochabamba, La Paz, Potosí, Chuquisaca y Oruro. El mismo autor menciona que la calidad de tubérculo posee características propias como; Peso específico: 1,10; Materia seca total de 24,3%; Almidón: 17,71% y Glicoalcaloides: bajo contenido (no amarga).

2.5.5. Características nutricionales

La papa es un alimento, muy nutritivo que desempeña funciones energéticas debido a su alto contenido en almidón, así como funciones reguladoras del organismo por su elevado contenido en vitaminas, minerales y fibra. Además, tiene un buen contenido de proteínas, presentando éstas un valor biológico relativamente alto dentro de los alimentos de origen vegetal (Suquilanda, 1984).

En contraste con los cereales las papas tienen vitamina C en cantidades similares a éstos. Las papas presentan un contenido en azúcares, proteínas y energía intermedia entre los que se observan en frutas, hortalizas y los cereales (Suquilanda, 1984).

El mismo autor, indica que la proteína de la papa presenta un valor biológico superior a la de los cereales lo cual se debe a su mayor contenido en lisina, aminoácido limitante en la proteína de los cereales.

Cuadro 1. Composición nutritiva por 100 gramos de porción comestible

Tipo de papa	Calorías (kcal)	Agua (g)	Proteína (g)	Grasa (g)	Fibra (g)	Calcio	Hierro	Vitamina A (mcg)
Blanca	99	74,5	2,1	0,1	0,6	9,0	0,5	3,0
Amarilla	105	73,2	2,0	0,4	0,7	6,0	0,4	

Fuente: FAO (2008)

2.5.6. Requerimientos del cultivo

- **Altitud.** El cultivo de papa se produce en diferentes techos ecológicos del país desde 4.250 m.s.n.m. (K'arojo - Provincia Bustillos, Potosí) hasta 1.600 m.s.n.m. (Omereque-Provincia Campero, Cochabamba) (Zeballos, 1997).
- **Suelo.** La papa presenta un sistema radicular muy ramificado y con innumerables raicillas que fácilmente ocupan 40 cm de profundidad, por ello requiere de un suelo profundo, orgánico, mullido, con buena retención de humedad, es así que los mejores rendimientos se logran en suelos franco arenosos, con un pH de 5,5 a 8,0 (Pardave, 2004).

Los mejores suelos para la papa son los de textura franco, franco limoso y franco arcilloso, de estructura granular, bien drenados, profundos, fértiles, buen contenido de materia orgánica y pH de ligeramente ácido a neutro (5,5 a 7) (PROINPA, 2008).

- **Agua.** La papa es un cultivo muy exigente en agua, aunque un exceso reduce el porcentaje en fécula y favorece el desarrollo de enfermedades. Desde la siembra, el estado hídrico del suelo tiene influencia sobre toda la evolución del cultivo, la papa se cultiva con lluvia y riego, el sistema radical, crece entre los 20 a 60 cm. de profundidad demandando riegos frecuentes y ligeros pues niveles bajos de

humedad afectan el rendimiento, tamaño y calidad de la papa, y favorece el ataque de polillas (Sánchez, 2003).

La papa se desarrolla mejor en zonas con precipitaciones pluviales de 600 a 800 mm (PROSUKO, 2000), necesita de 500 a 700 mm de agua durante su periodo vegetativo. La evapotranspiración total (uso consuntivo) del cultivo de papa varía desde los 400 a 500 mm (Sánchez, 2003).

- **Temperatura.** El mayor rendimiento de papa se produce en temperaturas diurnas de 20 a 25°C y nocturnas de 10 a 16 °C pero cuando las temperaturas son constantes la producción no es óptima (Romero, 2003). Aunque hay diferencias de requerimientos térmicos según la variedad, podemos generalizar, que temperaturas máximas o diurnas de 20 a 25 °C y mínimas o nocturnas de 8 a 13 °C, son excelentes para una buena tuberización, siendo la temperatura media óptima para ésta fase 20 °C (Pardave, 2004).

El cultivo de papa presenta resistencia a temperaturas bajas de 5 a 6 °C bajo cero, cuando el descenso de la temperatura es lenta; en cambio, si este descenso es rápido provoca la muerte de las plantas a los 2 °C bajo cero (PROSUKO, 2000).

- **Fotoperiodo.** La exposición del follaje a días cortos induce la tuberización mientras que la exposición del follaje a días largos, induce a la floración y formación de ramas laterales (Martínez y Huamán, 1987).

Los días largos (16 horas o más de luz provocan un incremento en el peso del follaje, elongación de los tallos, formación de flores y aumenta el número de estolones. En el caso de días cortos (12 horas o menos de luz) sucede lo opuesto el comienzo de la tuberización y la maduración de la planta, son más precoces (López, 1998).

- **Luminosidad.** Interviene en la fotosíntesis influyendo en la producción y concentración de carbohidratos, la máxima asimilación ocurre a los 60,000 lux (Pardave, 2004).

2.5.7. Manejo agronómico del cultivo

2.5.7.1. Preparación del suelo

- **Arada.** El cultivo de papa, requiere de una adecuada preparación, que se consigue con una labor de arado (25 a 30 centímetros), la misma que debe hacerse con por lo menos dos a tres meses de anticipación para poder enterrar el rastrojo o barbecho al suelo y lograr que este se descomponga y así mismo permitir que los controladores naturales bióticos (aves, reptiles, sapos, insectos, arañas) y abióticos (los rayos solares y el frío), eliminen a las plagas del suelo (Suquilanda, 1984).
- **Rastrada y Nivelada.** Los pases de rastra de acuerdo al tipo de suelo se deben hacer de forma espaciada y de manera cruzada, hasta lograr que quede bien mullido y preferentemente a una profundidad aproximada de 20 centímetros (Suquilanda, 1984).
- **Elaboración de surcos.** Surcar de tal manera que al caer la lluvia o hacer el riego, el agua se deslice lentamente, para evitar la erosión del suelo y conseguir que la tierra se remoje de una manera profunda y uniforme (Suquilanda, 1984).
- **Fertilización.** Para ayudar a un mejor desarrollo del cultivo y posibilitar una buena cosecha de papa, al momento de la siembra se debe aplicar al fondo del surco el abono orgánico disponible, complementado con los fertilizantes minerales que se requieran (Suquilanda, 1984).

La papa es un cultivo exigente de suelos fértiles, por consiguiente el uso de abonos es de considerable importancia para obtener buenos rendimientos ya que

los fertilizantes permiten un buen desarrollo en las primeras fases del cultivo, mientras que, el estiércol vacuno aporta nutrientes hasta la maduración de los tubérculos. La aplicación de estiércol y fertilizantes permite obtener mayores rendimientos que cuando se aplica grandes cantidades de uno sólo de ellos (PROINPA, 2008).

2.5.7.2. Época y densidad de siembra

Las épocas de siembra varían según la zona agroecológica y el sistema de cultivo. Las siembras tempranas se efectúan entre mayo y junio, con riego inicial de instalación. Las siembras grandes en secano se realizan entre septiembre y principios de noviembre, de acuerdo a las lluvias (FAO, 2007).

La cantidad de semilla requerida varía también entre 1.000 y 1.500 kg/ha, según la variedad, el tamaño de la semilla y el distanciamiento entre surcos. Se estima que se deben tener entre 30.000 a 35.000 plantas por hectárea. Es decir 3 a 3,5 plantas por metro cuadrado, con surcos distanciados entre 0,80 a 1,00 m (FAO, 2007).

2.5.7.3. Labores culturales

Las labores culturales se realizan de acuerdo a las condiciones agroecológicas, según la incidencia o presencia de malezas, plagas, enfermedades y factores no controlables durante el periodo vegetativo del cultivo (Suquilanda, 1984).

- **Deshierbe.** Las hierbas indeseadas o malezas son los enemigos número uno de los cultivos, ya que dentro del lote compiten por luz, agua y nutrientes, además son hospederos de plagas que afectan al cultivo (Suquilanda, 1984).

El deshierbo también llamado ashal (norte del Perú) se efectúa después de unos 25 a 40 días de la germinación, para evitar que las malezas compitan por

nutrientes y humedad con las plantas, igualmente para dar una mayor aeración a las raíces (FAO, 2007).

- **Medio Aporque.** Se realiza entre los 60 días después de la siembra, apilando la tierra alrededor de las plantas. Esta labor tiene tres propósitos: Proporcionar sostén a la planta, Aflojar el suelo para facilitar la circulación del aire y el agua por las raíces y Evitar la emergencia de hierbas indeseadas o malezas. Esta labor se realiza manualmente, con la ayuda del azadón o la pala (Suquilanda, 1984).
- **Aporque.** Se pueden efectuar uno o dos aporques; el primero se realiza cuando se inicia la formación de estolones unos 20 días después del primer deshierbe, y otro complementario un mes después, sobre todo si el año es muy lluvioso (FAO, 2007). Según Suquilanda (1984), el aporque garantiza las siguientes ventajas:
 - ✓ Aísla a los tubérculos de los insectos plaga
 - ✓ Aísla a los tubérculos de la exposición a la luz, evitándose el “verdeamiento” de estos.
 - ✓ Mejora el drenaje de los excesos de agua de los surcos.
 - ✓ Evita la emergencia de las hierbas indeseadas o malezas
 - ✓ Da mayor sostén a la planta.
 - ✓ Incorpora una capa de suelo alrededor de la planta y facilita una mejor
 - ✓ formación de tubérculos.

2.5.7.4. Riego

Es necesario facilitar riego al cultivo, proveyendo el agua a la planta en forma racional y no regar ni en forma excesiva o insuficiente. Es necesario hacer un riego presiembra profundo un par de días antes de la siembra para uniformar la humedad en el suelo y facilitar la siembra (Suquilanda, 1984).

Se debe aplicar el primer riego después de haber brotado el mayor número de plantas, lo cual en un cultivo bien conducido, se produce entre los 20 a 30 días después de la siembra. Los riegos siguientes se hacen cada 12 a 15 días hasta la floración, cada vez que la planta lo necesite.

Luego de la floración, los riegos deben aplicarse cada 8 a 10 días por requerir el cultivo más agua para producir una mayor cosecha, ya que el agua es destinada por la planta en su mayor parte a los tubérculos (Suquilanda, 1984).

Un cultivo de papa localizado sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar, necesita entre 600 a 700 milímetros de agua distribuida de manera uniforme durante su ciclo vegetativo. Esto significa que el gasto de agua para una hectárea de papa sería de entre 6.000 a 7.000 metros cúbicos. La etapa crítica durante la cual no debe faltar el agua, es cuando en la planta se están formando los tubérculos.

Cuando la disponibilidad de agua es deficiente, la transpiración es mayor a la absorción (Suquilanda, 1984). A este punto la planta cierra sus estomas como mecanismo de ahorro de agua, pero esto trae consecuencias negativas como:

- ✓ Menos actividad fotosintética
- ✓ Incremento de la temperatura interna de la planta
- ✓ Reducción del ingreso de anhídrido carbónico (CO₂)
- ✓ Maduración precoz del cultivo
- ✓ Reducción en el rendimiento

2.5.7.4.1. Riego por goteo

Para Chipana (2007), el riego por goteo es el agua aplicada al suelo en una frecuencia bastante alta para satisfacer las necesidades inmediatas de la planta, manteniendo el suelo siempre en valores altos de potencial, es decir, el contenido de humedad del suelo se mantiene próximo a capacidad de campo.

Ledezma (2001), indica que el riego por goteo es la aplicación lenta y frecuente de agua al suelo a través de elementos mecánicos llamados goteros localizados en un cierto punto a lo largo de una línea de distribución. Este método de riego permite controlar el manejo del estado hídrico de las plantas y su inversión en sí, justifica con aquellos cultivos perennes de alto valor económico que necesitan una buena eficiencia de riego en el mediano y largo plazo, de tal manera que no se afecte la productividad y la calidad de las cosechas (Miranda, 2002), aunque instalar éste tipo de sistema demanda una alta inversión de capital inicial y una mayor capacidad de gestión que los sistemas convencionales (Cetin y Uygan, 2008).

- **Ventajas y desventajas del riego por goteo**

Las ventajas del riego por goteo, según García *et al.*, (2009) son:

- ✓ Menores pérdidas de agua
- ✓ Cultivos en condiciones óptimas de absorción
- ✓ Requiere poca mano de obra
- ✓ Adaptable a todo tipo de suelos y topografía
- ✓ Posibilidad de automatización

Entre las desventajas se tiene:

- ✓ Mayores costos de instalación
- ✓ Obstrucción en los emisores (requiere de un buen equipo de filtración en el cabezal)
- ✓ Hay que hacer un análisis inicial de agua

2.5.7.5. Plagas y Enfermedades

La incidencia y daño ocasionado por la presencia de plagas y enfermedades es una de las limitantes más importantes en el aumento de la productividad.

Según la FAO (2007), las principales plagas que afectan al cultivo de la papa son: el Gorgojo de los Andes (*Premnotrypes solaniperda*), la Polilla de la papa (*Phthorimea*

operculella y *Scrobipalpus absoluta*), los Gusanos de tierra (*Copitarsia* sp.), la Pulga saltona (*Epitrix spp.*) y la Mosca minadora (*Frankliniella tuberosi*).

Entre las principales enfermedades se tienen el Tizón tardío (*Phytophthora infestans*), la Verruga (*Synchytrium endobioticum*), la Roña (*Spongospora subterraneo*), las Manchas foliares (*Poma andina*), el Kasahui (*Ulocladium atrum*), la Marchitez bacteriana (*Pseudomonas*) y Virus de diferentes tipos (FAO, 2007).

2.5.7.6. Cosecha

Cuando las hojas de papa se ponen amarillas y los tubérculos se desprenden con facilidad de sus estolones, significa que la papa está madura. Si las papas van a almacenarse en vez de consumirse enseguida, se dejan en el suelo para que la piel se haga más gruesa. Para facilitar la cosecha, el follaje de la planta de papa se deberá eliminar dos semanas antes de sacar los tubérculos de la tierra (FAO, 2007).

2.5.7.7. Rendimiento

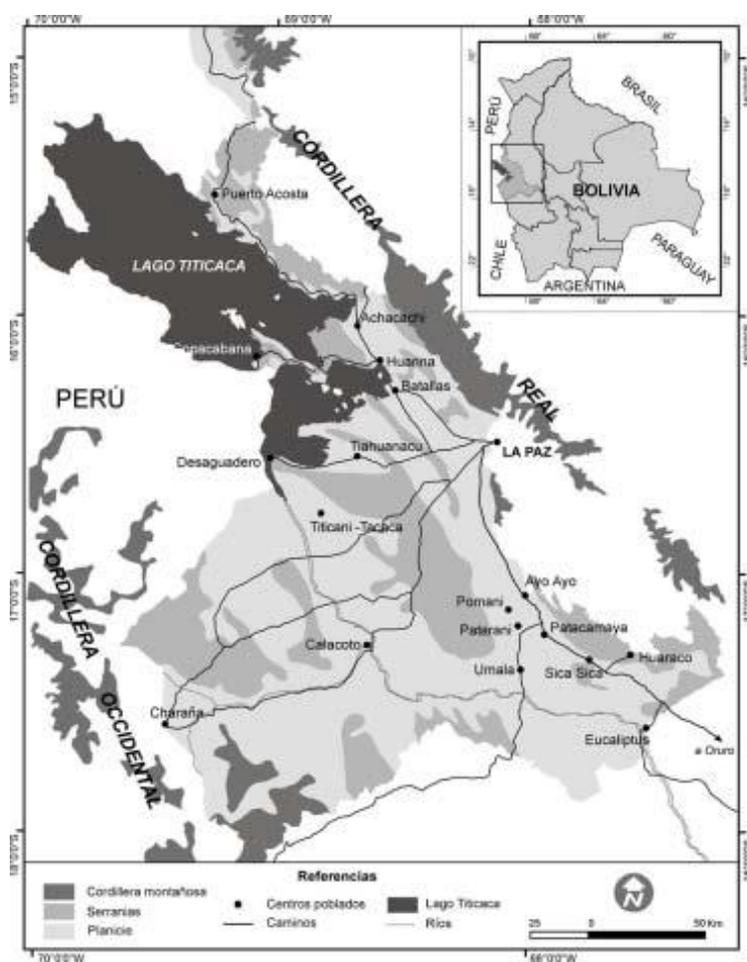
El rendimiento de papa promedio es de 5,98 t/ha y según el CIP (2005) poco ha variado en los últimos 40 años, situándose entre los rendimientos más bajos en Latinoamérica y el mundo (Zeballos *et al.*, 2009).

En condiciones de tecnología tradicional, los rendimientos históricos siempre fueron reportados entre 5 y 6 t/ha (INE, 2011). Al presente, aunque no está oficialmente registrado en las estadísticas, tales rendimientos tradicionales, ya fueron superados, en promedio se estima que se encuentra sobre 8 t/ha, y, con certeza, son mucho mayores cuando se refieren a algunas microrregiones o departamentos como Cochabamba, zonas andinas de Potosí y Chuquisaca, los valles interandinos o mesotérmicos y el propio oriente boliviano donde los rendimientos son superiores debido a sus características extensivas de cultivo y el uso de tecnología moderna (Coca Morante, 2012).

3. LOCALIZACIÓN

3.1. Ubicación geográfica

La investigación se realizó en la estación experimental de Patacamaya (Ex – IBTA), dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés. Geográficamente se encuentra situado entre los 17°15'43,9" Latitud Sur y 67°56'45,5" Longitud Oeste, a una altura que varía desde 3785 hasta 3899 metros sobre el nivel del mar, y distante a 105 km del centro de la ciudad de La Paz (PDM Patacamaya, 2006 - 2010).



Fuente: Instituto Geográfico Militar – Bolivia: Google maps (2016)

Figura 1. Ubicación geográfica del Municipio Patacamaya

El municipio de Patacamaya se constituye en la capital de la Quinta Sección de la provincia Aroma, limita al norte con el municipio de Ayo Ayo, al sur con los municipios de Umala y Sica Sica, al oeste con la Provincia Pacajes y al este con la Provincia Loayza y el municipio de Sica Sica (PDM Patacamaya, 2006 - 2010).

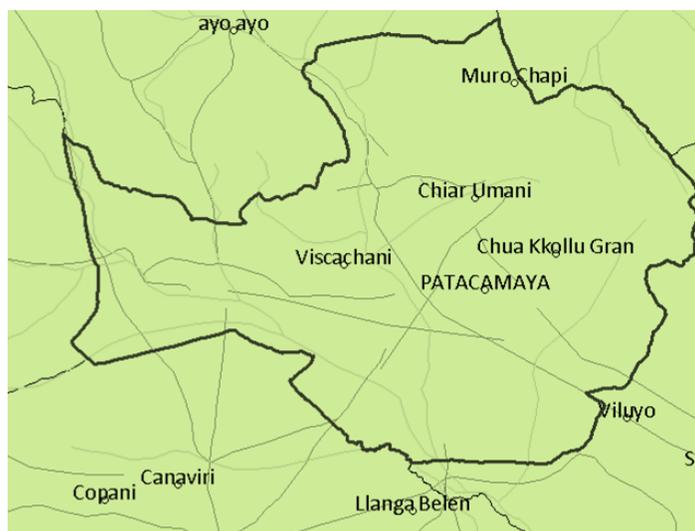


Figura 2. Límites geográficos del Municipio Patacamaya

3.2. Características climáticas

El clima de esta región altiplánica es semi-árida, se caracteriza por tener dos tipos de épocas, una estación seca que comprende desde el mes de abril a septiembre y la otra húmeda que va de octubre a marzo. Las fluctuaciones de temperatura promedio por mes registran una mayor temperatura entre los meses de octubre a diciembre, llegando a alcanzar 13,96 °C en promedio. En los meses de mayo, junio y julio se presentan las temperaturas más bajas del año obteniéndose registros inferiores a 0°C (PDM Patacamaya, 2006 - 2010).

Según el mismo documento, la precipitación pluvial varía de 350 a 450 mm por año, teniendo un promedio para el municipio Patacamaya de 400 mm.

3.3. Suelo

Los suelos tienen la particularidad de ser heterogéneos debido a su origen fluvio lacustre. El contenido de materia orgánica es bajo, tiene una textura franco arcillosa, con pH de ligeramente básico a neutro, la profundidad de la capa arable es de 20 a 45 cm, la humedad del suelo es baja razón por la cual la agricultura se desarrolla en época de lluvias (PDM Patacamaya, 2006 - 2010).

3.4. Vegetación

La composición florística está compuesta predominantemente por gramíneas perennes, alternadas con arbustos muy dispersos que se desarrolla durante el periodo lluvioso como: Mostacilla (*Brassica campestris*), Sanu Sanu (*Ephedra americana*), Q'ora (*Tarasa tenella*), Ñaka thola (*Baccharis incarum*), Cola de Ratón (*Hordeum muticum*), Añahuaya (*Adesmia sp.*), Sauri Sauri (*Erodium cicutarum*) (PDM Patacamaya, 2006 - 2010).

3.5. Características fisiográficas

La localidad de Patacamaya se encuentra situada en medio de las cordilleras Occidental y Oriental. Fisiográficamente se divide en dos sectores: El primero constituido por serranías onduladas y montañosas, ubicándose al Noreste y Noroeste del municipio, el segundo caracterizado por una planicie de origen aluvial (PDM Patacamaya, 2006-2010).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales y equipos

4.1.1. Material biológico

- Semilla de papa certificada de la variedad Waych'a paceña (*Solanum tuberosum* L.), procedente de la Asociación de Productores Agropecuarios Muru Mamani de Achacachi.

4.1.2. Material de Campo

- Libreta de campo
- Cinta métrica
- Marbetes
- Vernier
- Flexómetro
- Estacas de madera
- Mochila Aspersora
- Balanza de precisión
- Cámara fotográfica
- Herramientas de campo
- Bolsas de plástico

4.1.3. Material de escritorio

- Libreta de campo
- Material bibliográfico
- Equipo de computación
- Impresora
- Escáner

4.1.4. Sistema de riego

- Tanque de agua de 500 litros
- Bomba centrífuga con motor eléctrico (1 1/2 HP)
- Cinta con gotero integrado (16 mm)
- Manómetro de glicerina

- Filtro de Anillas 1 1/2"
- Electro válvula 3/4"
- Válvula de Retención 1" (bronce)
- Politubo E-40 1"
- Tubos PVC de 1" y 2" (Tee, tapones, codos, coplas, uniones, llave esfera y niples)
- Buje Reducción 1" x 3/4" PVC Rosca
- Teflón 3/4 " CH

4.1.5. Equipo magnetizador

- Electroimán de 90 watts (2000 gauss)
- Electro válvulas
- Caja plástica
- Cable eléctrico de 2,5 mm² de sección (220 voltios)

4.2. Metodología

4.2.1. Procedimiento experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en la gestión agrícola 2014 - 2015.

4.2.2. Diseño experimental

La investigación estuvo sujeta al diseño de bloques completos al azar, el cual permitió controlar en campo, la variabilidad observada debida al terreno (Ochoa, 2009).

Los datos de los 12 tratamientos resultantes del arreglo de 3 x 1 (tres tratamientos de riego y un cultivo) con 4 repeticiones, se tabularon y analizaron con el programa estadístico Info Stat (versión 2008).

4.2.2.1. Modelo lineal aditivo

El modelo lineal utilizado para un diseño de Bloques Completos al Azar, es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} = Una observación cualquiera
- μ = Media poblacional.
- β_j = Efecto del j - ésimo bloque
- α_i = Efecto del i - ésimo tratamiento
- ε_{ij} = Error experimental

4.2.2.2. Formulación de tratamientos

El Cuadro 2 muestra la formulación de los tratamientos y su respectiva interacción.

Cuadro 2. Formulación de tratamientos

Cultivo	Tratamientos
Papa	T ₁ = Testigo (a secano)
	T ₂ = Riego por goteo con agua sin magnetizar
	T ₃ = Riego por goteo con agua magnetizada

Fuente: Investigación de campo 2014-2015

4.2.3. Croquis de la Parcela Experimental

El área experimental fue delimitado de acuerdo al diseño de investigación en cuatro bloques de 42 m², constituidos cada uno por tres unidades experimentales de 20 m de largo por 0,7 m de ancho, teniendo así una superficie total más pasillo de 208 m².

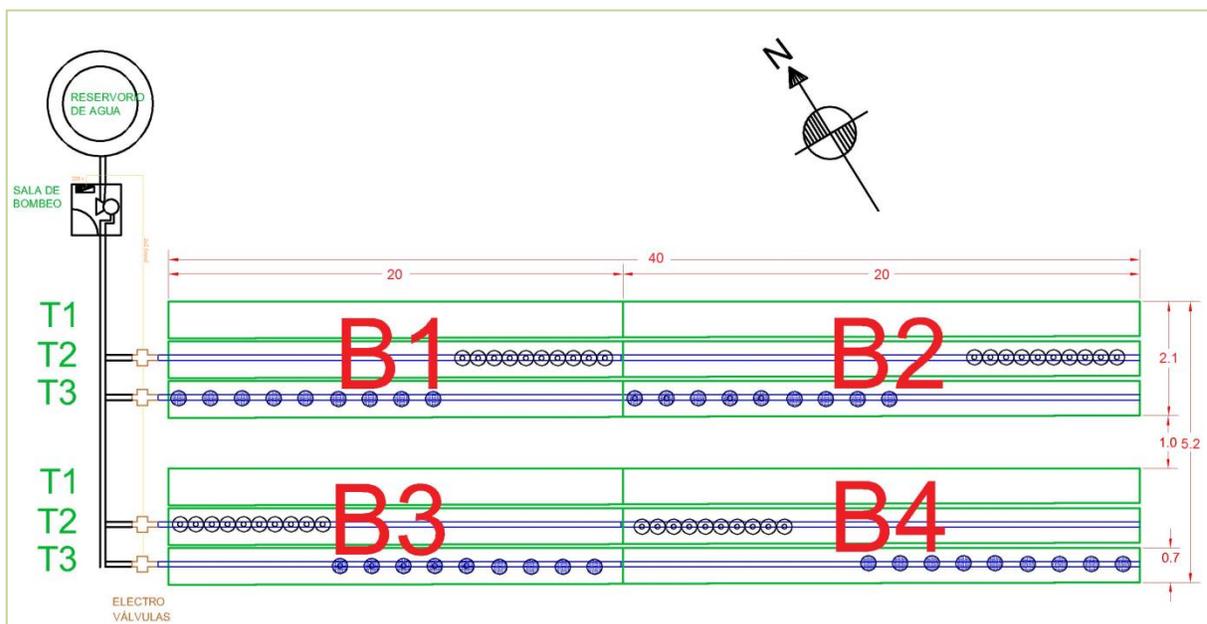


Figura 3. Croquis experimental de la parcela

4.2.3.1. Características del área experimental

- Tratamientos: 3
- Repeticiones: 4
- Total unidades experimentales por parcela (UE): 12
- Área U.E.: (20 m x 0,7 m) = 14 m²
- Área de la parcela experimental: 208 m²
- Distancia entre surcos: 0,70 m.
- Distancia entre plantas: 0,30 m.

4.2.4. Procedimiento de campo

- a. **Muestreo de suelo.** Una vez identificado el área de estudio, se procedió a tomar muestras de suelo por el método del zigzag en seis lugares de la parcela experimental, posteriormente se hizo una mezcla con las seis muestras tomadas y haciendo cuarteo se obtuvo una muestra representativa, la cual se envió a análisis físico – químico al Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear (IBTEN) (Anexo 1).

Cuadro 3. Análisis físico químico del suelo experimental antes de la siembra

Parámetro	Suelo Antes de la siembra
Clase Textural	Franco Arcilloso Arenoso
pH en agua 1:5	6,76
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,157
Materia orgánica (%)	2,5
Nitrógeno total (%)	0,13
Fósforo asimilable (ppm)	78,84
Potasio (meq/100g suelo)	1,99
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g suelo)	11,82

Fuente: Elaboración propia en base a análisis de suelos IBTEN (2014)

Como muestra el Cuadro 3, el suelo de la parcela experimental pertenecía a la clase textural Franco Arcilloso Arenoso, lo cual se asume fue apto para el cultivo de papa, ya que es una combinación de lo sugerido por PROINPA (2008), que señala que los mejores suelos para éste cultivo son los de textura franco, franco limoso y franco arcilloso.

El **pH** del suelo al momento de la siembra tenía una acidez de 6,76; neutro según la clasificación de Chilón (1997) y con buena disponibilidad de Calcio y Magnesio de acuerdo a la FAO (2013), lo cual habría favorecido al cultivo de papa en cuanto al rendimiento ya que en suelos ácidos muy pocos nutrientes están disponibles para ser tomados por las raíces, pues afecta la producción dando cosechas muy bajas, es así que lo recomendado por Pardave (2004) para el cultivo de papa está entre 5,5 a 8,0 con un óptimo de 6,2 a 6,5 (Guerrero, 1991) rango en el que agrónomicamente la mayoría de elementos esenciales y de los cultivos se comportan bien.

La **conductividad eléctrica** en el análisis del suelo antes de la siembra presentó un valor numérico de 0,157 dS/m (1,57 mS/cm), valor menor a los rangos que de acuerdo a Havlin (2013) puede tolerar el cultivo de papa (1,3 a 3,0 mS/cm), considerándose por tal razón moderadamente sensible a la salinidad. Además según la clasificación de los suelos en base a su CE y el efecto general sobre los cultivos, Castellanos (2000) sostiene que suelos con una CE menor a 1 mS/cm son suelos libres de sales sin restricción para ningún cultivo, por lo cual se procedió a la siembra sin hacer ningún tipo de enmienda.

- b. Preparación del terreno.** Esta actividad se realizó en octubre, en un terreno cuyo cultivo anterior también fue de papa. La parcela fue arada por un tractor agrícola a una profundidad de 40 cm, luego se procedió con el roturado, mullido, nivelado y posterior apertura de surcos.
- c. Siembra.** La siembra fue directa y se realizó el 16 de noviembre de 2014, en surcos previamente hechos por un tractor. Se utilizó una distancia entre plantas de 0,30 m y de 0,70 m entre surcos, destinándose un total de 92 kg de semilla de papa certificada.

- d. Instalación del sistema de riego.** La instalación del sistema de riego fue superficial y se realizó tres semanas después de la siembra. Para llevar a cabo ésta actividad primero se construyó la caseta de bombeo cuyo objetivo fue albergar al equipo de bombeo y al equipo de control de riego. El equipo de bombeo estuvo conformado por un tanque de 500 litros (para almacenar el agua subterránea), la electro bomba de 1,5 HP, filtros de anillas para la arena, tuberías de salida de 1 pulgada, llaves de paso, etc. El equipo de control de riego estuvo compuesto por un control de riego que medía y determinaba el riego además de la magnetización o no del agua y electro-válvulas que abrían o cerraban el paso de éste. Por fuera de la caseta, se encontraban las cintas de goteo no auto-compensantes cuyo caudal medio de descarga de los emisores fue de 1,75 litros por hora.
- e. Instalación del equipo magnetizador.** El equipo magnetizador se instaló junto con el sistema de riego y se adosó (acopló) a la salida de la bomba de agua sobre un tubo PVC de 1 pulgada. Estuvo compuesto por un electroimán de 90 watts cuya emisión fue de 2000 gauss de campo electromagnético.
- f. Muestreo de agua.** Una vez instalado el sistema de riego y el equipo magnetizador se procedió a tomar muestras de agua para efectuar el análisis respectivo en el Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear (IBTEN). Para ambos casos (agua sin magnetizar y agua magnetizada) se recolectó dicho líquido en una cantidad aproximada de 1 litro en frascos de plástico y después de haber dejado correr el agua por algún tiempo (Anexos 2 y 3).

Cuadro 4. Análisis de las propiedades físico químicas del agua

Parámetro	Agua sin magnetizar	Agua Magnetizada
pH	6,84	7,3
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	570,00	549,00
Sólidos Totales (mg/L)	340,15	331,08

Fuente: Elaboración propia en base a análisis IBTEN (2014)

En el Cuadro 4 se observa que el valor de **pH** en el agua sin magnetizar es de 6,84; considerado normal y apto para riego dentro de los parámetros de clasificación de la FAO (2002), valor de pH que cambia al pasar por el magnetizador a 7,3 manteniéndose en el rango de normalidad, pero que se eleva suponemos por la ionización del agua en sus átomos de hidrógeno y oxígeno.

La **conductividad eléctrica** del agua sin magnetizar pasa de 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0,57 dS/m) a 549 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0,54 dS/m) en el agua magnetizada, valores que los ubica dentro del Grupo C2S1 en la clasificación del agua con fines de riego según las normas Riverside (USA) y cuyo párrafo indica que éstas aguas son consideradas de salinidad moderada que pueden usarse para el riego de cultivos, a condición de que exista cuando menos, un lavado moderado de los suelos. Además, según ésta norma la mayoría de los cultivos resisten éste tipo de agua, sin prácticas especiales de control.

Por otro lado y al igual que el anterior parámetro, los **sólidos totales** del agua sometida al magnetizador se mostraron disminuidos en sus proporciones respecto del agua normal (de 340,15 mg/L a 331,08 mg/L), ésta disminución se atribuye a que durante el ciclado del agua para la magnetización hay precipitación de sales que se acumulan en el fondo del tanque, por lo que al final el agua magnetizada resulta con menor cantidad de sólidos totales.

g. Riego. Antes de iniciar con el riego se hizo un cálculo teórico para saber cuándo y cuánta agua aplicar al cultivo utilizando el programa CROPWAT, el cual con datos históricos de las condiciones climáticas de la zona, el tipo de cultivo, las fases fenológicas y las propiedades físicas de suelo ayudó a determinar las necesidades de agua para el cultivo de papa (Anexo 4).

Cuadro 5. Determinación teórica del Requerimiento y Frecuencia de riego (programa CROPWAT)

Mes	Etapas	Kc	Etc mm/día	Etc mm/dec	Pp Efect (mm/dec)	Riego req. (mm/dec)
Nov	Inicio	0,74	3,78	18,9	2,4	16,5
Nov	Inic	0,74	3,74	37,4	8,4	29,0
Dic	Inic	0,74	3,70	37,0	12,5	24,5
Dic	Des	0,77	3,82	38,2	15,8	22,4
Dic	Des	0,98	4,79	52,7	18,7	34,0
Ene	Med	1,16	5,63	56,3	22,7	33,5
Ene	Med	1,18	5,63	56,3	26,3	30,1
Ene	Med	1,18	5,40	59,4	24,4	35,0
Feb	Med	1,18	5,16	51,6	22,3	29,3
Feb	Fin	1,17	4,91	49,1	21,2	27,9
Feb	Fin	1,11	4,64	37,1	17,9	19,2
Mar	Fin	1,02	4,25	42,5	14,4	28,1
Mar	Fin	0,91	3,81	38,1	11,3	26,8
Mar	Fin	0,81	3,40	37,4	8,7	28,7
Abr	Fin	0,70	2,98	29,8	5,6	24,2
Abr	Fin	0,60	2,59	23,3	2,4	20,6
Total				665,2	235,1	429,9

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2014 - 2015)

Según los resultados de dicho programa, la cantidad de agua mínima requerida por el cultivo (ETc) fue de 665,2 mm, de los cuales 235,1 mm serían cubiertos por los pulsos de precipitación y 429,9 mm corresponderían al agua suministrada mediante riego; éstos resultados indican también que durante el ciclo fenológico del cultivo las plantas deberían regarse en 16 oportunidades.

- h. Control de malezas.** El desmalezado de las parcelas experimentales se realizó dos veces durante el crecimiento del cultivo, el primero a los 45 días después de la siembra y el segundo al inicio de la tuberización (45 días después de la emergencia). Esta práctica se la hizo manualmente sacando las malezas desde la raíz para evitar la competencia por nutrientes de nuestro cultivo.
- i. Aporque.** Con el objeto de favorecer el desarrollo del sistema radicular, controlar malezas, airear el suelo y principalmente favorecer la tuberización se realizó dos aporques de forma manual e inmediatamente después de cada deshierbe.
- j. Control fitosanitario.** Durante el desarrollo del experimento no se presentaron enfermedades, sin embargo el cultivo fue atacado por el gorgojo de los andes (*Premnotrypes latithorax*), por lo que se realizó el control químico mediante el uso del insecticida karate de etiqueta amarilla perteneciente al grupo químico de los organofosforados, en una relación de 20 ml de karate en 20 litros de agua, la aplicación del mencionado insecticida se la hizo al inicio y finalización de la floración.
- k. Cosecha.** La cosecha del cultivo de papa se realizó manualmente con la ayuda de una chontilla, ésta acción se repitió para todos los tratamientos, teniendo cuidado de registrar los datos obtenidos en cada uno de ellos.
- l. Muestreo de suelos después de la cosecha.** Para comparar las propiedades físico químicas del suelo experimental antes de la siembra y después de la cosecha, terminada la recolección de los tubérculos se tomó una muestra de

suelo por tratamiento y por bloque, lo cual permitió reunir 4 muestras de suelo por cada uno de los tratamientos que mezclados y cuarteados para obtener una muestra representativa fueron enviados al Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear (IBTEN) para su respectivo análisis (Anexos 5, 6 y 7).

Cuadro 6. Análisis de las propiedades físico químicas del suelo experimental

Parámetro	Suelo Antes de la siembra	Suelo Después de la cosecha		
		ATM	ASM	Testigo
Clase Textural	Franco Arcilloso Arenoso			
pH en agua 1:5	6,76	7,29	6,8	6,7
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,157	0,11	0,16	0,26
Materia orgánica (%)	2, 5	0,96	0,83	0,91
Nitrógeno (%)	0,13	0,05	0,04	0,05
Fósforo asimilable (ppm)	78,84	14,89	17,78	22,91
Potasio (meq/100g suelo)	1,99	0,82	0,61	0,59
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g suelo)	11,82	7,38	5,81	4,62

Fuente: Elaboración propia en base a análisis de suelos IBTEN (2014 - 2015)

El análisis después de la cosecha (Cuadro 6) muestra que el **pH** del suelo no habría cambiado sustancialmente con ninguno de los tres tratamientos, manteniéndose todos los valores de pH dentro de la clasificación de neutro (Chilón, 1997). Sin embargo, se nota un ligero incremento, que en los tres casos, se atribuyen a la actividad de los microorganismos del suelo y raíces de las plantas.

La **conductividad eléctrica** después de la cosecha se mantuvo menor a 1, no obstante se puede observar que éste parámetro se comportó de diferente forma con cada uno de los tratamientos: en el suelo que tuvo contacto con el agua magnetizada, la conductividad eléctrica disminuyó de 0,15 a 0,11 dS/m, disminución que se presume se debe al lavado de las sales por acción de la

precipitación pluvial más el agua de riego suministrado al cultivo durante su crecimiento, contrario al suelo que sólo recibió agua de lluvia donde la conductividad eléctrica se elevó de 0,15 a 0,26 dS/m, elevación que se asume es debida a la acumulación de sales y al ascenso capilar debido a la escasa precipitación.

4.3. Variables de Respuesta

4.3.1. Variables agronómicas

4.3.1.1. Días a la emergencia

Para ésta variable, se contaron los días que trascurrieron desde la siembra hasta el momento en que más del 50% de las semillas de cada una de las unidades experimentales emergieron a la superficie.

4.3.1.2. Altura de planta

La altura de planta fue medida en centímetros, desde la base hasta la parte apical de la planta. La lectura y registro de éste dato se realizó semanalmente hasta la cosecha.

4.3.1.3. Diámetro de tallo

El diámetro del tallo se midió en todos los tratamientos a 5 cm de la base del cuello de la planta con la ayuda de un vernier, éste procedimiento se lo llevó a cabo semanalmente hasta la cosecha.

4.3.1.4. Número de tubérculos por planta

El número de tubérculos por planta se registró después de contar cada una de las papas correspondientes a cada una de las muestras, ésta acción se repitió con cada uno de los tratamientos al momento de la cosecha.

4.3.1.5. Peso de los tubérculos por planta

El peso de los tubérculos por planta se tomó al momento de la cosecha, pesando el total de unidades correspondientes a cada muestra y registrándolo de acuerdo a su tratamiento.

4.3.1.6. Rendimiento

El rendimiento de cada tratamiento, se obtuvo pesando la cantidad total de tubérculos resultantes de cada unidad experimental después de la cosecha. Este procedimiento se realizó para cada uno de los tratamientos y los datos se promediaron y ponderaron a una hectárea.

4.3.1.7. Evaluación económica preliminar de los tratamientos

Para la evaluación económica y consiguiente determinación de la rentabilidad de la producción de papa, se ponderó el área de producción a 1 ha y por medio de cálculos matemáticos y fórmulas se estimaron los costos de producción, los ingresos, las utilidades y el beneficio costo para cada uno de los tratamientos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Comportamiento climático de la zona de estudio

5.1.1. Temperatura

En la Figura 4, se muestra el promedio mensual de las temperaturas máximas y mínimas registradas en el municipio de Patacamaya durante el desarrollo de la investigación (gestión agrícola 2014 – 2015). En ella se observa, que la temperatura máxima alcanzada en esta gestión fue de 20,3 °C registrado el mes de abril de 2015, siendo la temperatura mínima de 5,2°C registrado el mes de febrero del mismo año.

En la misma figura, también se puede advertir que la temperatura promedio durante la fase de emergencia fue de 13 °C, siendo el promedio alcanzado de 11,4 °C entre las fases de inicio de la floración, inicio de tuberización y finalización de la floración (enero y febrero), posteriormente la temperatura media mensual subió en 1 °C, alcanzando un promedio de 12,4 °C hasta el momento de la cosecha (marzo).

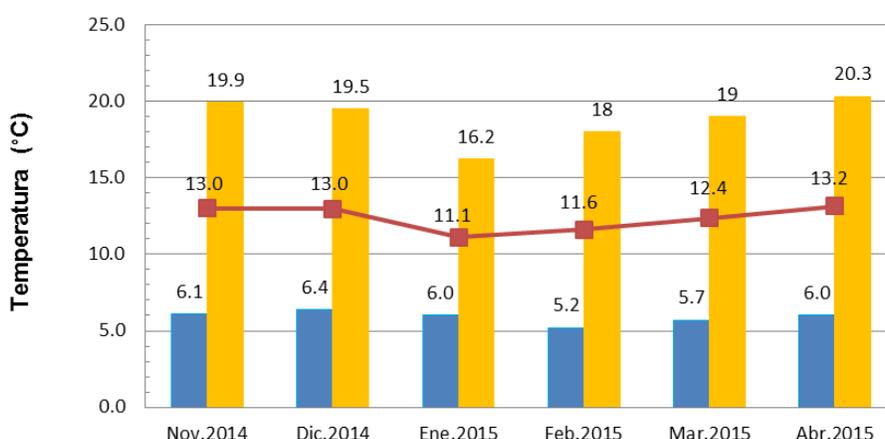


Figura 4. Registro mensual de temperaturas durante el desarrollo del cultivo en el Municipio de Patacamaya (SENAMHI, 2014-2015)

Los resultados en cuanto a temperatura observados en ésta investigación se aproximan a los señalados por Tapia (1990) quién indica que el área adecuada para el cultivo de papa es aquella cuya temperatura media anual está entre 6 y 14 °C. No obstante, difieren de lo manifestado por la FAO (2008), que sugiere que la temperatura óptima para el cultivo de papa, tanto para la formación del tubérculo, como para el crecimiento vegetativo es de 15 a 20 °C.

Los mismos autores, también indican que si la temperatura es muy elevada afecta la tuberización y contribuye el desarrollo de plagas y enfermedades, también podría disminuir la fotosíntesis, aumentar la respiración y por consecuencia haber combustión de hidratos de carbono almacenados en los tubérculos.

En cuanto a las temperaturas más bajas registradas, en la Figura 5 se evidencia la presencia de heladas en tres oportunidades, la primera dos días después del inicio de la floración (11 de enero de 2015) cuando la temperatura descendió hasta 0, 5°C, la segunda en plena floración (2 de febrero del mismo año) al bajar la temperatura a 1°C y la tercera al final de la tuberización (20 de marzo).

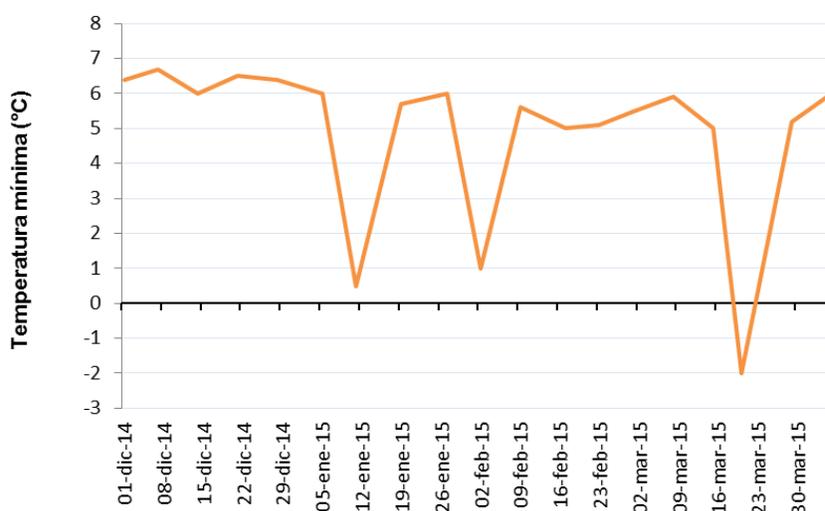


Figura 5. Registro diario de temperaturas mínimas en el Municipio de Patacamaya (SENAMHI, 2014-2015)

Se asume que las dos primeras heladas fueron leves y que sucedieron por el descenso gradual de la temperatura durante el día, ya que aparte de provocar retraso en el inicio de la tuberización y la finalización de la floración, sólo dañaron la parte foliar de algunas plantas. Contrariamente, la helada del 20 de marzo cuyo reporte fue de 2 °C bajo cero, se consideró severa y brusca en el cambio de temperatura, pues produjo decaimiento total del cultivo de papa, razón por la cuál se realizó la cosecha el 25 de marzo, a los 129 días posteriores a la siembra.

Los registros de temperatura durante el desarrollo de la investigación y el consecuente comportamiento del cultivo, concuerdan con lo señalado por PROSUKO (2000) que sostiene que el cultivo de papa presenta resistencia a temperaturas bajas de 5 a 6 °C bajo cero, cuando el descenso de la temperatura es lenta; en cambio, si este descenso es rápido provoca la muerte de las plantas a los 2 °C bajo cero.

PROINPA (2008) indica que la papa común es bastante susceptible a los descensos drásticos de temperatura (heladas), pudiendo perderse la totalidad de su producción inclusive en el sistema de suka qullus, el mismo que ha demostrado su capacidad de atenuación de heladas en el rango de los 2 °C.

5.1.2. Precipitación

En la Figura 6 se presenta las precipitaciones registradas durante la gestión agrícola 2014 - 2015 en el municipio de Patacamaya, en ella se puede apreciar una máxima precipitación caída el mes de enero de 2015 con 136 mm y una mínima de 22,4 mm registrada el mes de noviembre de 2014.

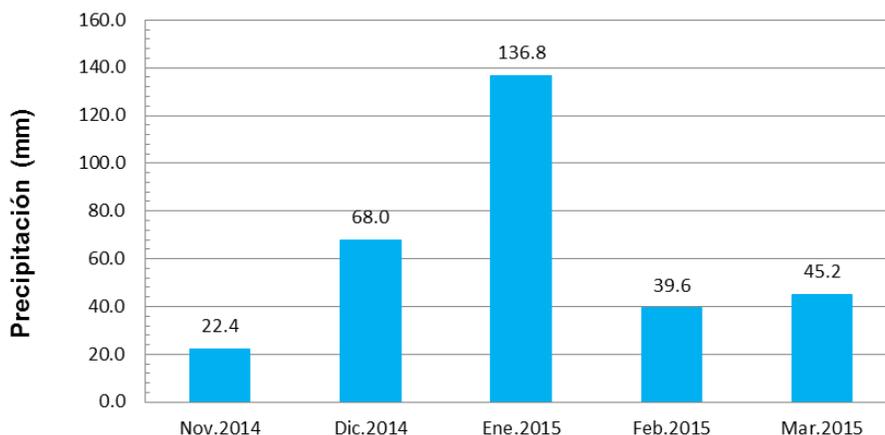


Figura 6. Registro de precipitaciones durante el desarrollo del cultivo en el Municipio de Patacamaya (SENAMHI, 2014-2015)

La misma figura (6), muestra que las precipitaciones en un principio (fase de emergencia) fueron las más bajas registradas durante el ciclo de cultivo, sin embargo y a pesar que éstas se fueron incrementando con el tiempo, sólo alcanzaron un total acumulado de 211,4 mm hasta la cosecha, provisión de agua de lluvia baja considerando que la cantidad mínima de agua requerida por el cultivo fue calculado en 665,2 mm (Anexo, 4a).

Éstos resultados muestran un déficit de 453,8 mm de agua para todo el ciclo del cultivo que debería ser cubierto con agua de riego para obtener una buena producción, lo cual no ocurrió en éste estudio por haberse adelantado la cosecha a causa de una helada que provocó la muerte de las plantas.

De igual manera, se puede advertir que el tratamiento testigo (a secano) sólo recibió un total de 211,4 mm de agua durante su desarrollo lo que sin duda causó estrés hídrico en el cultivo con éste tratamiento traduciéndolo después en sus bajos rendimientos. Tanto el tratamiento de riego por goteo con agua magnetizada y el tratamiento de riego por goteo con agua sin magnetizar recibieron hasta la cosecha un total de 574,4 mm de agua; 211,4 mm provenientes del agua de lluvia y 363 mm

suministrados mediante riegos repartidos en 14 oportunidades (Anexo, 4b), acción que favoreció al desarrollo del cultivo manifestándolo posteriormente en sus rendimientos.

La diferencia entre la cantidad de agua necesaria calculada por CROPWAT y la cantidad recibida por el cultivo bajo riego (90,5 mm) formaba parte de las precipitaciones y los riegos que no se llegaron a efectivizar por el adelanto de la cosecha, realizándose ésta a los 129 días después de la siembra y no así a los 150 días proyectados.

PROSUKO (2000) señala que la cantidad de agua requerida para el cultivo de papa está entre los 500 a 700 mm distribuidos durante su periodo vegetativo, pues la evapotranspiración total (uso consuntivo) del cultivo varía desde los 400 a 500 mm (Sánchez, 2003).

Asimismo, Suquilanda (1984) indica que cuando la disponibilidad de agua es deficiente, la transpiración es mayor a la absorción y en éste punto la planta cierra sus estomas como mecanismo de ahorro de agua, pero esto trae consecuencias negativas como menos actividad fotosintética, incremento de la temperatura interna de la planta, reducción del ingreso de anhídrido carbónico (CO₂), maduración precoz del cultivo y reducción en el rendimiento, por lo que es necesario facilitar riego al cultivo, proveyendo de agua a la planta en forma racional y no regar ni en forma excesiva o insuficiente.

5.2. Efecto del agua magnetizada sobre las variables agronómicas

5.2.1. Días a la emergencia

En la Figura 7, se muestra el comportamiento general de las semillas de papa durante la emergencia, ésta denota que a los 27 días después de la siembra las semillas de papa presentaron más del 50% de emergencia (52%, 60% y 58%) para los tratamientos testigo (a secano), con riego por goteo con agua normal y riego por

goteo con agua magnetizada respectivamente, razón por la cual se tomó ese día (27) como el número de días a la emergencia en ésta investigación.

La misma figura, evidencia que a los 41 días después de la siembra la parcela regada con agua magnetizada alcanzó un promedio de 93% de emergencia, seguida del tratamiento regado con agua normal con 88% y el tratamiento sin riego con 79%, porcentaje menor con relación a los tratamientos que recibieron riego.

De forma general y comparando con otras investigaciones (ver más adelante) éstos resultados muestran una emergencia alta para todos los tratamientos. No obstante, es evidente que aquellos en los que se utilizó riego por goteo presentaron un mayor porcentaje de emergencia, debido probablemente a que éste sistema proporcionó al suelo la humedad necesaria que, combinada con la temperatura del lugar, la estructura del suelo y la semilla de procedencia certificada favorecieron el desarrollo de brotes y raíces en un menor número de días.

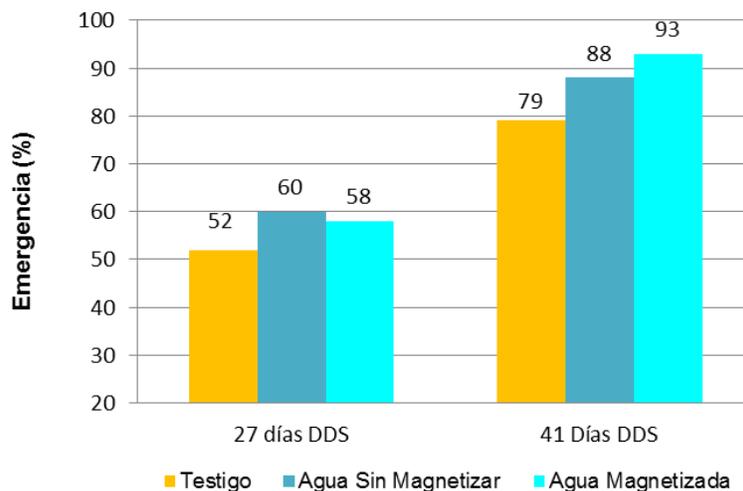


Figura 7. Porcentaje de emergencia de las semillas de papa

El número de días a la emergencia (27 días) observados en ésta investigación se aproximan al rango que sugiere Canahua (1991), quién manifiesta que la emergencia ocurre generalmente de los 30 a 35 días después de la siembra y que depende de la humedad y temperatura del suelo. Sin embargo, los resultados en cuanto a porcentajes finales y número de días (41), no concuerdan con Quispe (2013), ni Tangara (2007), quienes en investigaciones realizadas en el altiplano central observaron una emergencia tardía de la variedad Waych´a (55 días después de la siembra) la misma que atribuyeron a las características de la semilla y la baja precipitación registrada.

En parte, estos datos confirman la aseveración del CIP (2005) que indica que la humedad del suelo es necesaria para la formación de raíces y el temprano crecimiento de la planta; con baja humedad y baja temperatura la emergencia se retrasa.

5.2.2. Altura de la planta a la cosecha

El análisis de varianza (Cuadro 7) para altura de planta a la cosecha no presentó diferencias significativas entre bloques pero sí detectó diferencias altamente significativas entre los tratamientos.

Siendo el coeficiente de variación de 13,99% (valor dentro del rango de confiabilidad) se asume que no se encontraron diferencias significativas entre bloques porque las condiciones medioambientales (temperatura, precipitación, humedad, nutrientes disponibles en el suelo) y condiciones de manejo de las parcelas experimentales hasta la cosecha fueron similares para todos los tratamientos.

Cuadro 7. Análisis de varianza para altura de la planta a la cosecha

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Prob
Bloques	3	34.92	11.64	1.96	0.2209 NS
Tratamientos	2	5884.83	2942.42	496.48	0.0001 **
Error	6	35.56	5.93		
Total	11	5955.31			

CV = 13,99 %

NS = No significativo

(**) = Altamente significativo

La prueba Duncan al 5% presentado en el Cuadro 8, corrobora las diferencias significativas entre las alturas alcanzadas por los tratamientos, y la Figura 8 muestra de forma general el crecimiento vertical de las plantas de papa a lo largo del ciclo de cultivo, en ambas se observa que las mayores alturas corresponden al tratamiento donde se utilizó el sistema de riego por goteo con agua tratada magnéticamente con 91,1 cm, seguido de las plantas que recibieron riego con el mismo sistema pero con agua sin magnetizar con un promedio en altura de 53,7 cm y por último, con las más bajas alturas de planta, el grupo testigo que sólo contó con agua de lluvia para su crecimiento con 38,4 cm.

Cuadro 8. Prueba de Duncan para altura de la planta a la cosecha

Tratamientos	Media (cm)	Duncan ($\alpha = 0.05$)
Riego por goteo con agua magnetizada	91,13	A
Riego por goteo con agua sin magnetizar	53,70	B
Testigo (a secano)	38,41	C

La diferencia en altura de planta que muestran los tres tratamientos (Figura 8) en ésta investigación, se atribuyen al sistema de riego y al tipo de agua utilizado, ya que aquellos tratamientos que recibieron riego, independientemente del tratamiento

mostraron valores superiores a los alcanzados por el testigo, por lo cual se puede afirmar que la disponibilidad de agua en el suelo influyó en el crecimiento longitudinal de las plantas.

Con relación al agua tratada magnéticamente, se supone que ésta pudo penetrar mucho más eficientemente el suelo, manteniendo la humedad más homogénea y permitiendo así disminuir la evapotranspiración, mientras que ayudaba a lixiviar los elementos más pesados como las sales y los carbonatos. Aseveración que concordaría con Calvache (2000), quien señala que cuando la suplencia de humedad es deficitaria, los requerimientos del cultivo no pueden ser abastecidos con plenitud, la velocidad de transpiración es superior a la velocidad de absorción de agua por las raíces y la planta reduce la transpiración mediante el cierre de sus estomas, retrasándose el desarrollo de los tallos y hojas en crecimiento.

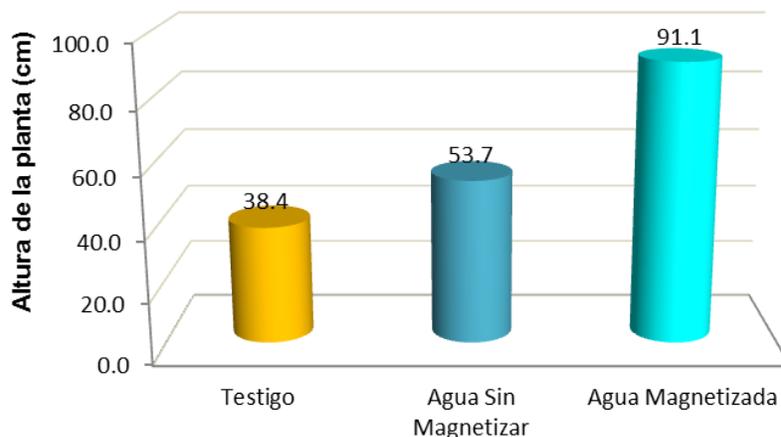


Figura 8. Altura promedio de la planta a la cosecha

Asimismo, las mayores alturas alcanzadas por las plantas tratadas con agua magnetizada (91,1 cm) suponemos que se deben a los cambios que se produjeron en éste líquido al pasar por el magnetizador, cambios en el pH (manteniéndolo apto para la absorción), en la ionización (favoreciendo la formación de iones) y en la

tensión superficial que facilitaron tanto la solubilidad de los nutrientes disponibles en el suelo como la absorción de éstos por las plantas. Además, el agua así tratada y una vez absorbida probablemente influyó en los procesos celulares, aumentando naturalmente las hormonas de crecimiento, hormonas como las auxinas que promueven la elongación del tallo en las plantas, explicando de ésta manera su altura frente a los demás tratamientos.

Esto, corrobora lo manifestado por Ghole (1986) y Osipova (1990) quienes sostienen que el efecto estimulador del campo magnético sobre los objetos biológicos ha sido atribuido a diferentes mecanismos, tales como: el incremento de la actividad enzimática y el aumento de la eficiencia de los procesos relacionados con la división celular lo que conlleva el crecimiento vegetativo de las plantas (Pittman, 1965b).

Por otro lado, Pérez (1993) refiere que las plantas regadas con agua tratada magnéticamente absorben con mayor facilidad los nutrimentos del suelo, desarrollando su sistema radicular y aéreo por la mayor solubilidad de los minerales fluyentes en el agua, que facilitan el proceso de osmosis de las membranas biológicas. Hozayn *et al.*, (2011) por su parte, indican que el efecto de estimulación del agua magnetizada se atribuye a su papel en el aumento de la absorción y asimilación de nutrientes con el consecuente incremento en el crecimiento de la planta.

5.2.3. Diámetro del tallo a la cosecha

El análisis de varianza (Cuadro 9), para el diámetro del tallo no detecto diferencias significativas entre bloques, pero si encontró diferencias altamente significativas entre los tres tratamientos.

Asumimos, que no se encontraron diferencias entre los bloques porque la investigación fue llevada a cabo de forma homogénea tanto en las actividades de manejo del cultivo como en las condiciones ambientales otorgadas por el lugar, lo

cual se confirma con el coeficiente de variación de 18,32% que indica que los resultados experimentales para ésta variable son confiables.

Cuadro 9. Análisis de Varianza para diámetro del tallo a la cosecha

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Prob
Bloques	3	0.05	0.02	2.68	0.1406 NS
Tratamientos	2	1.31	0.66	103.15	0.0001 **
Error	6	0.04	0.01		
Total	11	1.40			

CV = 18,32 %

NS = No significativo

(**) = Altamente significativo

La prueba Duncan para el diámetro del tallo (Cuadro 10), confirma las diferencias existentes entre los tratamientos en cuanto a ésta variable se refiere, destacándose el cultivo de papa que recibió riego por goteo con agua magnetizada con un diámetro promedio de tallo de 1,8 cm, diámetro mayor al alcanzado por el tratamiento que obtuvo riego por goteo con agua sin magnetizar con un promedio de 1,4 cm y el tratamiento testigo que sólo registró un espesor de tallo de 1,1 cm.

Cuadro 10. Prueba de Duncan para diámetro del tallo a la cosecha

Tratamientos	Media (cm)	Duncan ($\alpha = 0.05$)
Riego por goteo con agua magnetizada	1,8	A
Riego por goteo con agua sin magnetizar	1,4	B
Testigo (a secano)	1,1	C

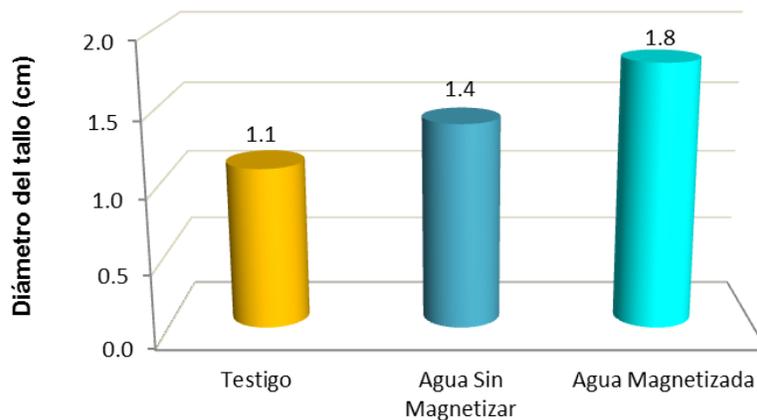


Figura 9. Diámetro promedio del tallo a la cosecha

Ante éstos resultados, se puede aseverar que la cantidad de agua sea magnetizada o no, influyó en el crecimiento horizontal del tallo, ya que las condiciones de cultivo en éste estudio sólo diferían en éste aspecto.

El mayor diámetro del tallo (1,8 cm) obtenido con el tratamiento de riego por goteo con agua magnetizada, se atribuye a que al interior de la planta éste tipo de agua interviene en la síntesis de promotores de crecimiento como las citoquininas, cuyos efectos fisiológicos incluyen promover la movilización de nutrientes junto con la formación y crecimiento de brotes laterales. Esto acompañado de una mejor y mayor absorción de nutrientes por parte de la planta, justificaria el incremento horizontal alcanzado con respecto al grupo testigo.

Majd y Shabrangi (2009) concluyeron que para aumentar la biomasa se necesitan cambios metabólicos, en particular, con el incremento de la biosíntesis de proteínas. Asimismo, Hozayn *et al.*, (2011) indicaron que el efecto de estimulación del agua magnetizada sobre distintos criterios de crecimiento vegetal puede ser atribuido al incremento en los pigmentos fotosintéticos, los promotores endógenos, el fenol total y el aumento de la biosíntesis proteínica.

5.2.4. Número de tubérculos por planta

El análisis de varianza para el número de tubérculos por planta (Cuadro 11) muestra un coeficiente de variación de 17,22% lo que indica que los resultados experimentales son confiables. Asimismo, éste análisis no presentó diferencias significativas entre bloques pero si detectó diferencias altamente significativas entre los tratamientos.

Estimamos que no se encontraron diferencias significativas entre bloques porque las condiciones experimentales para los tres tratamientos se mantuvieron constantes y similares en términos ambientales y de manejo.

Cuadro 11. Análisis de Varianza para el número de tubérculos por planta

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Prob
Bloques	3	2.25	0.75	0.69	0.5894NS
Tratamientos	2	22.17	11.08	10.23	0.0117 *
Error	6	6.50	1.08		
Total	11	30.92			

CV = 17,22 %

NS = No significativo

(**) = Altamente significativo

Realizada la prueba Duncan al 5% (Cuadro 12), ésta no mostró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos 2 y 3, mostrando similitud en el número de tubérculos formados por planta (22 y 21 respectivamente). Sin embargo, la prueba detectó diferencias significativas entre los tratamientos que recibieron riego y el tratamiento testigo que presentó un promedio de 14 tubérculos por planta sólo con agua de lluvia.

Cuadro 12. Prueba Duncan para el número de tubérculos por planta

Tratamientos	Media	Duncan ($\alpha = 0.05$)
Riego por goteo con agua magnetizada	22	A
Riego por goteo con agua sin magnetizar	21	A
Testigo (a secano)	14	B

Considerando que el agua de riego es importante para la formación de tubérculos, suponemos que los tratamientos bajo éste sistema fueron favorecidos porque pudieron mantener la humedad del suelo, siendo que a simple vista el suelo cuya irrigación fue con agua magnetizada parecía mantener por más tiempo dicha humedad respecto del suelo que recibió agua sin magnetizar y del testigo.

La razón por la cual la humedad del suelo habría sido mayor para el riego con agua magnetizada puede ser atribuida a dos razones. Primero, a que en el proceso de magnetización, las moléculas de agua probablemente se tornaron más cohesivas por acción de la ionización y pudieron ligarse fácilmente a las partículas de suelo, penetrando en los microporos, logrando de ésta manera retener la humedad.

Por otra parte y dado que la magnetización del agua cambia la estructura y algunas características físicas de ésta, asumimos que las sales que se formaron por el choque de iones con cargas opuestas (CaCO_3) no tuvieron la oportunidad de adherirse a las tuberías, debido a que estos cristales microscópicos están forzados a formarse mientras el agua está en movimiento. Por tanto, las sales no se precipitaron en las tuberías y fueron movidas en el perfil del suelo.

Estos resultados, concuerdan con Mostafazadeh-Fard *et al.*, (2011) citados por Khoshravesh *et al.*, (2011) quienes investigaron los efectos del agua magnetizada y la salinidad del agua de riego en la distribución de la humedad sobre el suelo bajo

riego por goteo. Ellos mostraron que la humedad media del suelo, a diferentes profundidades del mismo, bajo el sistema de goteo con el tratamiento de agua magnetizada, fue mayor en comparación con el tratamiento de riego con agua sin magnetizar con una diferencia significativa del 5%.

Duarte *et al.*, (2004) indicaron que con el tratamiento magnético del agua de riego, se obtiene mayor prevención sobre las obturaciones de los emisores de riego, alcanzándose un caudal medio mayor así como un coeficiente de uniformidad de riego más elevado comparado con el testigo. Este comportamiento debido a que la acción del campo magnético y activado sobre las sales transportadas en el agua, hacen que éstas se agrupen como centros de cristalización alrededor de la corriente líquida y salgan al exterior a través de los emisores de riego sin precipitar en las tuberías o en los orificios de salida del micro-aspersor.

Con esto se comprueba que el tratamiento magnético del agua actúa sobre el hábito de cristalización de las sales del agua, lo cual permite que actúe como un mejorador de la calidad del agua y ayude a elevar la vida útil de los sistemas de riego localizado (Riquenes, 1996 citado por Duarte *et al.*, 2004).

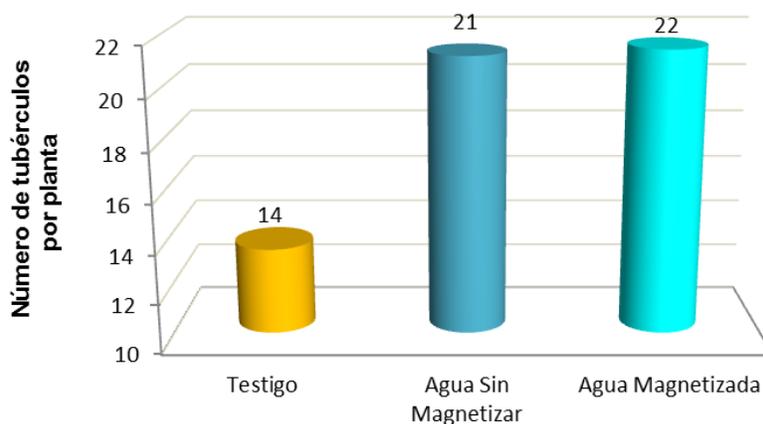


Figura 10. Número promedio de tubérculos por planta

Otro aspecto para la diferencia en número, entre el tratamiento con agua magnetizada y el tratamiento testigo lo atribuimos a los nutrientes disponibles en el suelo (N-0,13%, P-78,84 ppm y K-1,99 meq/100g suelo), los cuales consideramos fueron suficientes, sólo que no fueron bien aprovechados por las plantas del tratamiento testigo, pues al no tener agua suficiente para disolver algunos nutrientes retenidos por el suelo hubo menor cantidad disponible de éstos para ser absorbidos por la planta, contrario a lo ocurrido con el tratamiento con agua magnetizada, que aparte de haber recibido agua adicional, tuvo los beneficios del cambio en sus características físico químicas descritas anteriormente, lo que probablemente aumentó la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y potenció su absorción con la consecuente formación de un mayor número de tubérculos.

Rojas (2008) indica que el agua tratada con magnetizadores, destapa y rompe el suelo comprimido dando a las raíces libertad de crecer y de absorber los nutrientes más rápidamente, pues se reduce la tensión superficial del agua, creando más solubilidad y penetración lo que estimula a las raíces de las plantas. Para Zúñiga *et al.*, (2011) la aplicación de estímulos electromagnéticos al agua de riego influye en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, con una disminución de la compactación y mejora en su estructura.

Asimismo, CVC-UNIVALLE (2009) señala que al utilizar campos magnéticos se acelera la acción dinámica de los microorganismos benéficos del suelo, realizando así un proceso de rehabilitación químico-biológico sobre suelos afectados por salinidad, reduciendo el tiempo y aumentando la eficiencia del mejoramiento a través de la actividad biológica.

5.2.5. Peso promedio por tubérculo (g)

El análisis de varianza (Cuadro 13) para el peso por unidad de tubérculo, reportó un coeficiente de variación de 22,60%, valor ubicado dentro del rango de confiabilidad para éste tipo de experimentos. El mismo análisis no encontró diferencias

significativas entre bloques, sin embargo detectó diferencias altamente significativas entre los tratamientos.

Cuadro 13. Análisis de varianza para el peso promedio por tubérculo (g)

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Prob
Bloques	3	340.25	113.42	2.46	0.1603 NS
Tratamientos	2	26526.17	13263.08	287.81	0.0001 **
Error	6	276.50	46.08		
Total	11	27142.92			

CV = 22.60 %

NS = No significativo

(**) = Altamente significativo

La prueba Duncan presentada en el Cuadro 14, muestra tres categorías bien diferenciadas, una primera categoría para el tratamiento que recibió riego por goteo con agua magnetizada con un promedio de 125 g de peso por tubérculo; una segunda categoría intermedia para el tratamiento que también recibió riego por goteo pero con agua sin magnetizar con un valor de 70 g de peso por tubérculo y una tercera y última categoría para el tratamiento que sólo recibió agua de lluvia como riego con un valor de 38 g de peso por tubérculo.

Cuadro 14. Prueba Duncan para el peso promedio por tubérculo

Tratamientos	Media (g)	Duncan ($\alpha = 0.05$)
Riego por goteo con agua magnetizada	124,50	A
Riego por goteo con agua sin magnetizar	69,50	B
Testigo (a secano)	38,25	C

Del número total obtenido con cada uno de los tratamientos, se observó que la respuesta en porcentaje de tubérculos clasificados por categorías no fue uniforme evidenciándose (Figura 11) que para el caso del tratamiento testigo el mayor porcentaje (38%) corresponde a la segunda categoría, seguida por tubérculos de primera, cuarta y tercera categoría con 23%, 23% y 15% respectivamente.

El tratamiento con riego por goteo con agua sin magnetizar presentó tubérculos de la categoría primera en un 33%; extra y cuarta en un 20%; de segunda y tercera categoría en un 13%. Mientras que el tratamiento con riego por goteo con agua magnetizada mostró tubérculos de la categoría extra en un 44%, primera en un 31%; de segunda y tercera categoría en un 13% cada una.

Comparando éstos resultados, se advierte que el tratamiento testigo tuvo un mayor número de tubérculos con pesos por debajo de los 100 g, mostrando así ausencia total de papas de tamaño extra (> 100 g), contrario al tratamiento con riego por goteo con agua magnetizada cuyos tubérculos en su mayoría sobrepasaron los 100 g alcanzando la categoría extra y mostrando ausencia en tubérculos de la categoría cuarta (<30 g). Es importante notar, que el tratamiento con riego por goteo con agua sin magnetizar presentó la mayor variabilidad en tamaño mostrando tubérculos de todas las categorías.

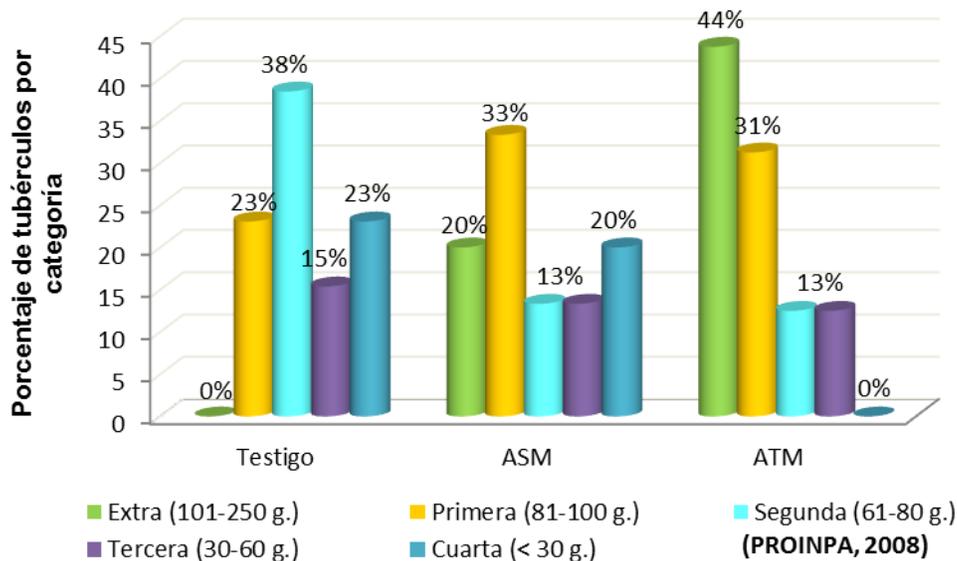


Figura 11. Porcentaje de tubérculos por categoría y tratamiento

Especulamos que el peso promedio por tubérculo más alto (125 g) obtenido bajo el sistema de riego por goteo con agua magnetizada se debe a varios factores, uno, a la frecuencia y al sistema de riego por goteo que le otorgó a la planta la humedad necesaria para lograr un mejor crecimiento del tubérculo con respecto al tratamiento testigo que cultivado en el mismo suelo y con las mismas condiciones de manejo obtuvo los menores gramajes por tubérculo (38 g), lo que sería razonable ya que el peso promedio de los tubérculos tratados bajo el sistema por goteo pero con agua sin magnetizar alcanzaron pesos que casi duplicaron (70 g) a los registrados por el testigo.

Éste punto, coincidiría con lo afirmado por Suquilanda (1984) quien indica que luego de la floración, los riegos deben aplicarse cada 8 a 10 días por requerir el cultivo más agua para producir una mayor cosecha, ya que el agua es destinada por la planta en su mayor parte a los tubérculos.

Aparte del agua, otro factor para el mayor peso alcanzado por los tubérculos del T3, puede estar relacionado con la disponibilidad de nutrientes, siendo que el agua magnetizada puede liberar elementos como el N, P y K (retenidos en el suelo) y ponerlos a disposición de las plantas, pues se asume que a mayor cantidad de agua mayor fue la cantidad de sales disueltas, aumentando así el flujo de agua e iones y la absorción de éstos por la planta.

Al respecto, Maheshwari y Grewal (2009) encontraron un aumento de P disponible en el suelo además de K extraíble, particularmente bajo agua reciclada tratada magnéticamente, argumentaron que el agua pudo liberar el P y K, adsorbido en el suelo sobre el complejo coloidal, aumentando su disponibilidad a las plantas y dando como resultado un crecimiento y una productividad mejorados de la planta.

De la misma forma, Alikamanoğlu *et al.*, (2007) citado por Hozayn *et al.*, 2011 sugirió que el tratamiento magnético sobre agua de riego promueve la absorción de N, P y K e incrementa el número de raíces, el grosor de tallo y número de macollos por planta.

5.2.6. Rendimiento de papa (Mg/ha)

El análisis de varianza para el rendimiento de papa (Cuadro 15) encontró diferencias significativas entre bloques, lo que significa que el experimento ganó precisión y se controló la fuente de variabilidad identificada (terreno).

Éste análisis también detectó diferencias altamente significativas entre tratamientos y reportó un coeficiente de variación de 19,24% lo cual indica que los datos experimentales son confiables.

Cuadro 15. Análisis de varianza para el rendimiento de papa (Mg/ha)

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Prob
Bloques	3	186.49	46.62	16.91	0.0041 *
Tratamientos	2	977.45	488.73	177.22	0.0001 **
Error	6	13.79	2.76		
Total	11	1177.73			

CV = 19,24 %

NS = No significativo

(**) = Altamente significativo

Como se puede observar en el Cuadro 16, la prueba Duncan muestra diferencias en los rendimientos de papa entre cada uno de los tratamientos, donde una vez más el tratamiento 3 correspondiente al riego por goteo con agua magnetizada alcanzó el máximo promedio con 29,6 Mg/ha, seguido del tratamiento con riego por goteo con 16,65 Mg/ha y el tratamiento testigo con 5,65 Mg/ha.

Cuadro 16. Prueba Duncan para el rendimiento de papa (Mg/ha)

Tratamientos	Media (Mg/ha)	Duncan ($\alpha = 0.05$)
Riego por goteo con agua magnetizada	29,60	A
Riego por goteo con agua sin magnetizar	16,65	B
Testigo (a secano)	5,65	C

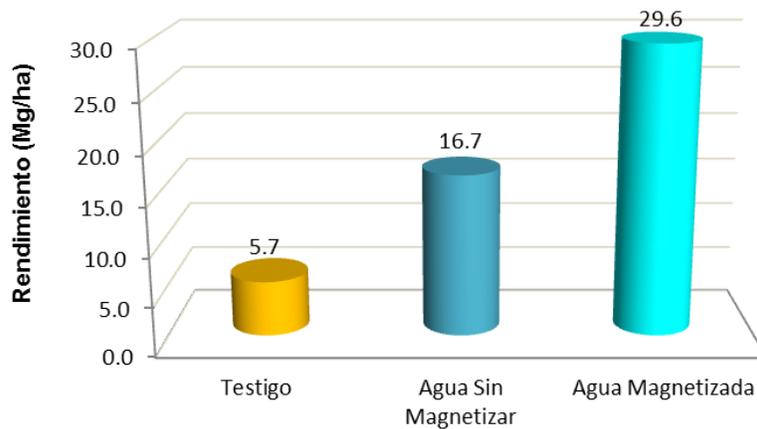


Figura 12. Rendimientos por tratamiento en Mg/ha

Siendo que los rendimientos están influenciados por el clima, suelo, nutrientes y tecnología aplicada para la producción, se asume que los resultados obtenidos para ésta variable en la presente investigación se deben principalmente al sistema de riego utilizado y a las características del agua sometida al magnetismo, ya que los otros aspectos fueron similares para los tres tratamientos.

Al sistema de riego, porque además de suministrar agua adicional al cultivo y gotear lentamente sobre el suelo suponemos formó un bulbo o cono de humedad que comparado con otro tipo de riego (aspersión o gravedad) mantiene por más tiempo el suelo húmedo permitiendo de ésta manera el desarrollo adecuado de los tubérculos, de la planta y del cultivo en general. Obviamente esto no ocurrió con el tratamiento testigo, ya que sólo contó con agua de lluvia para su desarrollo y lo manifestó posteriormente en su bajo rendimiento.

Al respecto, Sandoval (2007) afirma que con el sistema de riego por goteo se aplica la cantidad de agua que los cultivos requieren con bastante precisión y la humedad del suelo se mantiene todo el tiempo casi a capacidad de campo, esto favorecería la aireación; y la tensión a la cual el agua está retenida la haría disponible para la planta, según el mismo autor, ésta es una de las razones por la cual muchas veces

los rendimientos obtenidos con riego por goteo son mayores que con otros métodos. Por su parte, la FAO (2012) indica que la productividad de las tierras bajo riego es aproximadamente tres veces superior a las de secano.

En cuanto a la influencia de las características del agua magnetizada sobre el rendimiento, suponemos que los beneficios en solubilidad, absorción y traslocación causados por los cambios en la tensión superficial, en el pH y ionización del agua; los estímulos que produce la misma en el metabolismo y fisiología de la planta y la reacción que provoca en el suelo (actividad microbiana y mejora estructural) son los responsables en su conjunto del mayor rendimiento frente al tratamiento de riego por goteo con agua sin magnetizar y al tratamiento testigo.

Según Kato *et al.*, (1989) citado por Moussa (2011), la influencia del campo magnético sobre las plantas, sensibles a éste, hace que se incremente su energía, más tarde esa energía es distribuida entre los átomos y causa la aceleración del metabolismo y consecuentemente se mejora la producción.

Aladjajiyán (2003) citado por Hozayn *et al.*, (2011) indican que la combinación apropiada de inducción de campo magnético y tiempo de exposición acelera las etapas tempranas del desarrollo de la planta y mejora la productividad. Para Hozayn *et al.*, (2013) la utilización de agua magnetizada puede llevar a mejorar el rendimiento, la calidad del cultivo y el uso eficiente del agua en suelos arenosos.

Por otra parte y dado que no existen estudios previos sobre el rendimiento de papa bajo riego con agua magnetizada en nuestro país, se comparó los resultados obtenidos en ésta investigación con rendimientos encontrados bajo diferentes sistemas de riego y a secano.

En éste sentido, Choque (2012) y Quispe (2013) en sus evaluaciones “Productividad de papa en diferentes asociaciones con tarwi en el Municipio de Patacamaya” y “Efecto de bioinsumos agrícolas en el cultivo de papa waych’a en la Provincia Ingavi”,

registraron para sus tratamientos testigo (100% papa) un total de 2,65 Mg/ha y 8,32 Mg/ha respectivamente, valor por debajo (en el primer caso) y por encima (en el segundo caso) respecto del tratamiento testigo en ésta investigación.

En cuanto al riego por goteo, Mollo (2006) al aplicar éste tipo de riego a tres métodos de propagación de papa waych'a en el Altiplano Central encontró un rendimiento de 26,38 Mg/ha para la siembra de papa entera, dato superior a los rendimientos registrados en éste estudio para el tratamiento bajo el mismo sistema de riego.

Por otra parte Vaquiata (2016), al evaluar riego por pulsos con modelación SIRMOD II en el cultivo de papa waych'a realizado en el Centro experimental Cota Cota, reportó rendimientos de 33,71 Mg/ha para riego por pulsos y 27,53 Mg/ha para riego continuo, resultados que si bien no tienen relación con el presente estudio, demuestran que los rendimientos de papa waych'a bajo riego aumentan sustancialmente respecto del cultivo a secano.

5.3. Análisis económico preliminar de los tratamientos

El análisis económico en el presente trabajo, permitió evaluar los costos parciales de producción, así como los ingresos para cada uno de los tratamientos. Para facilitar los cálculos, el análisis se realizó para una unidad productiva representada por 1 ha (Anexos 8, 9, 10).

Para calcular los costos de producción se tomaron en cuenta los gastos por mano de obra utilizada para las labores culturales (jornal), la maquinaria agrícola que incluye el sistema de riego y el equipo magnetizador y los insumos para el cultivo (semilla, plaguicidas, bolsas y energía eléctrica).

Los ingresos se calcularon en base al rendimiento total de cada uno de los tratamientos y al precio de venta por kilo (en el lugar) de tubérculo. Para calcular el rendimiento ajustado, se descontó un 10% en pérdidas del rendimiento total obtenido

en ésta investigación, pues según Perrin (1988) se deben reducir los rendimientos de un 5% a un 30% para que se aproximen a lo que un productor y/o agricultor podría lograr con la tecnología en una superficie de mayor extensión.

Tanto la utilidad como el beneficio/costo, se obtuvieron por cálculos aritméticos de sustracción (para el primer indicador) y división (para el segundo indicador).

Cuadro 17. Resumen de la Evaluación económica a través de los Indicadores de rentabilidad

Cultivo	Tratamiento	Costo total (Bs/ha)	Ingreso Total (Bs/ha)	Utilidad (Bs/ha)	B/C (Bs)
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	Sin Riego (testigo)	12 227,50	10 170,00	-2 057,50	0,83
	Riego por goteo con agua sin magnetizar	20 446,50	29 970,00	9 523,50	1,47
	Riego por goteo con agua magnetizada	22 681,90	53 280,00	30 598,10	2,35

Fuente: Elaboración propia (2016)

Como se puede observar en el Cuadro 17, los costos de inversión para la producción de papa difieren en todos los casos debido al costo de los implementos utilizados con cada tratamiento.

Los ingresos fueron obtenidos a partir de los rendimientos de cada tratamiento y determinados por el precio de venta por kilo de papa en el lugar, siendo éste de Bs 2,00 al momento de la comercialización.

Sobre la base de éstas determinaciones las mejores utilidades fueron presentadas por el tratamiento con sistema de riego por goteo con agua magnetizada con una utilidad de Bs 30 598,10/100 respecto de los tratamientos con riego por goteo con

agua sin magnetizar y del tratamiento testigo que alcanzaron una utilidad de Bs 9 523,50/100 y Bs -2 057,50/100 respectivamente.

Las relaciones de Beneficio/Costo para los tratamientos con riego por goteo son mayores a uno (1), lo que indica rentabilidad en la producción de papa con éste tipo de sistema. Sin embargo, la que indica mejores ganancias es el tratamiento donde se utilizó sistema de riego por goteo con agua magnetizada con Bs 2,35/100, deduciéndose, que por cada 1 boliviano invertido con éste tipo de tratamiento se obtuvo una ganancia de Bs 1,35/100.

Por el contrario, las relaciones Beneficio/Costo menores fueron reportadas por el tratamiento que sólo contó con agua de lluvia como riego (testigo) con Bs 0,83/100, siendo que por cada 1 boliviano invertido en el cultivo de papa sin riego adicional se recuperó solamente Bs 0,83/100.

6. CONCLUSIONES

Una vez concluido el trabajo de campo y procesados los datos, se concluye que:

- Las temperaturas durante el desarrollo de la investigación fluctuaron entre los 11°C y 13°C, temperaturas que habrían favorecido al cultivo ya que se encuentra dentro del rango sugerido por algunos autores, que indican que de forma general el cultivo de papa se comporta bien en temperaturas que van de 6° C a 14° C.
- Las precipitaciones a lo largo del cultivo alcanzaron un total acumulado de 211,4 mm, provisión de agua de lluvia deficitaria considerando que la cantidad mínima requerida por el cultivo fue calculado en 665,2 mm.
- Tanto el tratamiento de riego por goteo con agua magnetizada y el tratamiento de riego por goteo con agua sin magnetizar recibieron hasta la cosecha un total de 574,4 mm de agua; 211,4 mm provenientes del agua de lluvia y 363 mm suministrados mediante riegos, lo cual favoreció al desarrollo del cultivo comparándolo con el tratamiento testigo que sólo recibió agua de lluvia.
- La emergencia de las semillas de papa fue similar a lo largo de ésta fase, pues a los 27 días después de la siembra las semillas de papa presentaron más del 50% de emergencia para los tres tratamientos, razón por la cual se tomó ese día (27) como el número de días a la emergencia en ésta investigación.
- El crecimiento en altura y el diámetro del tallo de las plantas de papa se comportaron de forma diferente con cada uno de los tratamientos, siendo superior en ambas variables el tratamiento donde se utilizó el sistema de riego por goteo con agua tratada magnéticamente con 91,1 cm de alto y un diámetro promedio de tallo 1,8 cm, frente al tratamiento que obtuvo riego por goteo con agua sin magnetizar y al tratamiento testigo que sólo alcanzó una altura de 38,4 cm y un diámetro de 1,1 cm.

- El número de tubérculos obtenidos por planta fue similar y superior con los tratamientos que recibieron riego por goteo con agua magnetizada y riego por goteo con agua sin magnetizar, con 22 y 21 tubérculos respectivamente, número superior al tratamiento testigo que sólo consiguió formar un promedio de 14 tubérculos por planta.
- El mayor peso por tubérculo se consiguió con el tratamiento que recibió riego por goteo con agua magnetizada con 125 g, casi el doble de peso de los tubérculos regados con el mismo sistema pero con agua común que reportaron un promedio de 70 g y tres veces más con relación al tratamiento testigo que sólo registró 38 g de peso promedio por tubérculo.
- La clasificación por categorías evidenció que el tratamiento testigo tuvo un mayor número de tubérculos con pesos por debajo de los 100 g, mostrando así ausencia total de tubérculos de tamaño extra (> 100 g), contrario al tratamiento con riego por goteo con agua magnetizada cuyos tubérculos en su mayoría sobrepasaron los 100 g alcanzando la categoría extra y mostrando ausencia en tubérculos de la categoría cuarta (<30 g). Mientras, que el tratamiento con riego por goteo con agua sin magnetizar presentó la mayor variabilidad en tamaño mostrando tubérculos de todas las categorías.
- En cuanto a los rendimientos, el tratamiento correspondiente al riego por goteo con agua tratada magnéticamente alcanzó el máximo promedio con 29,60 Mg/ha, respecto del tratamiento que recibió riego con agua normal que alcanzó 16,65 Mg/ha y del tratamiento que no recibió riego adicional (testigo) que obtuvo 5,65 Mg/ha.
- Las relaciones de Beneficio/Costo para los tratamientos con riego por goteo son mayores a uno (1), lo que indica rentabilidad en la producción de papa con éste tipo de sistema. Sin embargo, la que indica mejores ganancias es el tratamiento donde se utilizó sistema de riego por goteo con agua magnetizada con Bs 2,35/100, deduciéndose, que por cada 1 boliviano invertido con éste tipo de tratamiento se obtuvo una ganancia de Bs 1,35/100.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar otra investigación en las mismas condiciones que la presente, que permita tomar datos de las variables estudiadas a la madurez fisiológica del cultivo de papa.
- Se recomienda utilizar agua tratada magnéticamente en cultivos donde se utilicen riego por goteo o riego por aspersión, como complemento a estos sistemas.
- Se recomienda utilizar irrigación con agua magnética en cultivos de hoja, o en otros cultivos cuyos rendimientos sean bajos por los resultados obtenidos en ésta investigación.
- Se recomienda utilizar sistema de riego por goteo en lugares que presenten escasez del líquido elemento, por el ahorro que representa en agua y porque a lo largo del tiempo justifica su alto costo de implementación con sus rendimientos.
- Se recomienda hacer otras investigaciones con aguas saladas o ácidas utilizando un equipo magnetizador para probar su eficiencia con éste tipo de aguas.
- Finalmente y a pesar de que el riego no es rutinario en el cultivo de papa, se recomienda aplicar éste en etapas claves y sensibles del cultivo, como son la emergencia, floración y la tuberización.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ABDELAZIZ, E; ABDELRAZIG, A. 2014. Impact of magnetized water on elements contents in plants seeds. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 1(4), 12–21.
- BABU, C. 2010. Use of magnetic water and polymer in agriculture. *Tropical Research ID 08- 806-001*.
- BRACK, A. 2009. La Papa. Tesoro de los Andes. Centro Internacional de la Papa. Perú Ecológico. Lima, Perú. p. 2.
- CAKMAK, T; DUMLUPINAR, R; ERDAL, S. 2010. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. *Bioelectromagnetics*. p. 120-129.
- CALVACHE, M. 2000. Necesidades de agua de los Cultivos. *Memorias del VII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. SECS. CD. Editorial Primera Imprenta. Quito, Ecuador. 125 p.
- CANAHA, A. 1991. Agro ecología de las papas amargas en Puno In: 1 Mesa redonda. Perú – Bolivia. La Paz, Bolivia. p 57 - 68.
- CARBONELL, M; AMAYA, J; RAYA, A; MARTÍNEZ, E. 1996. Incidencia de campos magnéticos estacionarios en la germinación y crecimiento de semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*. (773), 1049–1054 p.
- CETIN, O; UYGAN, G. 2008. The effect of drip line spacing, irrigation regimes and planting geometries of tomato on yield, irrigation water use efficiency and net return. *Agric. Water Manage*. 95 (8): 49 – 958 p.

- CHIPANA, R. 2007. Necesidades de agua y programación de riegos: Avances basados en nuevas tecnologías de la información. Taller Internacional: Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información. Síntesis de Resultados. La Paz, Bolivia. 128 p.
- CHILÓN, E. 1997. Manual de fertilidad de suelos y nutrición de plantas. Prácticas de campo, invernadero y laboratorio. Centro de Investigación y Difusión de Alternativas Tecnológicas para el desarrollo. Facultad de Agronomía, U.M.S.A. La Paz, BO. 185 p.
- CHOQUE, D. 2012. Evaluación de la productividad del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en diferentes asociaciones con Tarwi (*Lupinus mutabilis*), en la Comunidad de Patarani - Municipio de Patacamaya. Tesis de Grado. La Paz, BO. 105 p.
- CIP (CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA, PE). 2005. La papa y la alimentación Mundial (en línea). Lima, PE. Consultado 2 jun. 2015. Disponible en: <http://www.peruecologico.com.pe/tubpapa.htm>.
- COCA, M. 2012. Una mirada al cultivo de la papa en Bolivia. Departamento de Fitotecnia y Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias "Dr. Martín Cárdenas". Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 19 p.
- CUTRE, EG. 1992. Structure and development of the potato in the potato Crop. The scientific Basic for improvement. 2ed. London, England. For Paul Harris. p. 47-104.
- CVC - UNIVALLE. 2009. Diseño y promoción de tecnologías y prácticas para la recuperación de áreas con suelos degradados por erosión y salinidad. Cali, Colombia. 167 p.

DOMÍNGUEZ, P; HERNÁNDEZ, A; CRUZ, O; IVANOV, R; CARBALLO, C; ZEPEDA, B; MARTÍNEZ, O. 2010. Influences of the electromagnetic field in maize seed vigor (in Spanish). Fitotecnia Mexicana. p. 33, 183-188.

DISEÑOS Y SOLUCIONES SOSTENIBLES. (s.f.). Tratamiento magnético del agua (TMA). Absorción de iones y nutrición de las plantas. Ingeniería para un Desarrollo Sostenible. Cuba. 9 p.

DUARTE, C; GUEVARA, G; MÉNDEZ, M. 2004. “Uso del agua activada y con tratamiento magnético del tomate en condiciones de organopónico”. Universidad Agraria de La Habana, Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 13 (003): p. 73-76.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) 2002. Agua y Cultivos. Logrando el uso óptimo de agua en la agricultura. Roma, Italia. 28 p.

_____. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. Agronomía de los cultivos andinos. FAO y ANPE. Lima, Perú. 1 ed. 222 p.

_____. 2008. Agronomía de los cultivos andinos. El cultivo de papa (en línea). La Paz, BO. Consultado 5 oct. 2016. Disponible en: www.mountainpartnership.org/.../1_produccion_organica_de_cultivos_andinos

_____. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Riego y Drenaje. División de Tierra y Agua. Roma, Italia. 530 p.

_____. 2013. El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Proyecto “Fortalecimiento de las cadenas productivas de la Agricultura Familiar para una inserción social y económica sostenible en zonas periurbanas de Departamento Central del Paraguay”. 33 p.

- FLÓREZ, M; MARTÍNEZ, E; CARBONELL, M. 2012. Effect of Magnetic Field Treatment on Germination of Medicinal Plants *Salvia officinalis* L. and *Calendula officinalis* L. Polish Journal of Environmental Studies, p. 21(1), 57–63.
- GALLAND, P; PAZUR, A. 2005. Magnetoreception in plants. J. Plant Res. 118(6), 371-389 p.
- GARCÍA, A; CUN, L; CHONG, C; DUARTE; MONTERO, L. 2009. Calibración de la Cámara de presión hidráulica desarrollada en Cuba por el IIRD. Ed. IIRD. La Habana, Cuba.
- GHOLE, V. 1986. Effect of magnetic field on ascorbic acid oxidase activity. I. Z. Naturforsch, 41c:(p.355-358).
- GOODMAN, R; CHIZMADZHEV; SHIRLEY-HENDERSON A. 1993. Electromagnetic fields and cell. J Cell Biochem. p. 51, 436-441.
- GOODMAN, E; GREENEBAUM, B; MARRON, M. 1995. Effects of electromagnetic fields on molecules and cells. International Review of Cytology. p. 158, 279–338.
- GUERRERO, R. 1991. La acidez del suelo: Su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. SCCS. Bogotá. p. 141-163.
- HELDMAN, D; MORARU, C. 2003. Encyclopedia of agricultural, food and biological engineering. (No. 630.03 E5). New York, NY, USA: Marcel Dekker.

- HEREDIA, J; RODRIGUEZ, A; RODRIGUEZ, L; SANTOYO, M; CASTAÑEDA, E; GONZÁLEZ, M. 2009. La Vida Secreta de las Plantas: Respuesta a campos electromagnéticos. Boletín Planta. Departamento de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. N° 8.
- HILAL, M; EL-FAKHRANI, S; MABROUK, A; MOHAMED; EBEAD, B. 2013. Effect of magnetic treated irrigation water on salt removal from a sandy soil and on the availability of certain nutrients. Int. J. Eng. Appl. Sci. 2(2), 36-44 p.
- HOZAYN, M; ABD EL MONEM, A; ABDUL QADOS; ABD EL-HAMEID. 2011. Response of some food crops to irrigation with magnetized water under greenhouse condition. Aust. J. Basic Appl. Sci. 5(12), 29-36 p.
- _____; ABD EL MONEM, R; ABD EL RAOUF; ABDALLA, M. 2013. Do magnetic water affect water water efficiency, quality and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plant under arid regions conditions. J. Agron. 12(1), 1-10 p.
- HUAMAN, Z. 1986. Botánica Sistemática y Morfología de la papa. Centro Internacional de la papa (CIP). Lima, Perú. p. 22.
- INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA). 2011. Estadísticas climatológicas e Informes de la producción agrícola (en línea). La Paz, BO. Consultado 27 sept. 2016. Disponible en: www.ine.gov.bo
- KHOSHRAVESH, M; MOSTAFAZADEH-FARD, B; MOUSAVI, S; KIANI, A. 2011. Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation. Soil Use and Management 27 (4), 515-522.
- LEDEZMA, B. 2001. Determinación de la eficiencia de aplicación del riego por aspersión en la Comunidad de Miska Mayu. U.M.M.S. – CLASS-ITC-IHE. Cochabamba, BO.

- LÓPEZ, R. 1998. Riego localizado. Ediciones Mundi – Prensa. Centro Nacional de Tecnología de Regadíos. España. 403 p.
- MAFFEI, ME. 2014. Magnetic field effects on plant growth, development and evolution. *Frontiers in Plant Science*, 5(445), 1–15 p.
- MAHESHWARI, B; GREWAL, SH. 2011. Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. *Bioelectromagnetics*, 32:(1): p. 58–65.
- MOLLO, D. 2006. Cultivo de papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andígena) con tres metodos de propagación bajo riego por goteo y a secano en el C.E.A.C. Tesis de Grado. Oruro, BO.
- MOUSSA, HR. 2011. The impact of magnetic water application for improving common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production. *New York Sci. J.* 4(6), 15-20 p.
- MULOOK AL-KHAZAN; BATOUL, M; AL-ASSAF, N. 2011. Effects of magnetically treated water on water status, chlorophyll pigments and some elements content of Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) at different growth stages. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(9), 722-731 p.
- NANUSHYAN, E; SKRIPNIKOV, A; MURASHOV, V. 2004. The Problem of Giant Cells in Biology. *Frontier Perspectives*, 13(1), 16–22 p.
- NEWMAN, E. 1987. Electromagnetic fields and ionic reactions at membrane interfaces. *Studia Biophysica*, 119 (1-3): 13-15 p.
- OCHOA, R. 2009. Diseños Experimentales. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 263 p.

- OCCHIPINTI, A; DE SANTIS, A; MAFFEI, M. 2014. Magnetoreception: An unavoidable step for plant evolution. *Trends in Plant Science*, 19(1), 1–4 p.
- OSIPOVA, L. 1990. Influencia de los campos magnéticos sobre los tejidos de callos de frutales (en ruso). *Biull. Cent. Ord. Trud. Krasn. Zn. Genet. Lab. Im. Michurina*, 49: 22-25 p.
- OSPINA, J; ALDANA, H. 1995. *Enciclopedia Agropecuaria*. Bogotá Colombia. 341p.
- PANG, X; SHEN, G. 2013. The Changes of Physical Properties of Water Arising From the Magnetic Field and Its Mechanism. *Modern Physics Letters B*. p. 27(31).
- PARDAVE, C. 2004. *Cultivo y comercialización de papa*. Primera edición. Perú. Editorial Palomino E.I.R.L. p. 133.
- PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL. 2006-2010. Gobierno Municipal de Patacamaya. Consultora Multidisciplinaria y Asistencia Técnica COMAT S.R.L. La Paz, Bolivia. 91-99 p.
- PIETRUSZEWSKI, S; KANIA, K. 2010. Effect of magnetic field on germination and yield of wheat. *Int. Agrophysics*. 24, 297-302 p.
- PITTMAN, U. 1963a. Magnetism and plant growth. I. Effect on germination and early growth of cereal seeds. *Can. J. Plant Sci.* 43 (2): 513-518 p.
- PITTMAN U. 1965b. Magnetism and plant growth. III. Effect on germination and early growth of corn and beans. *Can. J. Plant Sci.* 45: 549-555 p.

PODLEŚNY, J; PIETRUSZEWSKI, S; PODLEŚNA, A. 2005a. Influence of magnetic stimulation of seeds on the formation of morphological features and yielding of the pea. *Int. grophysics*

PROINPA (Promoción e Investigación de Productos Andinos). 2008. Catalogo Boliviano de cultivares de papa nativa. Estación experimental Toralapa catalogo Boliviano de cultivares de papa nativa N° 2. Cochabamba, Bolivia. 10 pp.

_____. (Promoción e Investigación de Productos Andinos). 2009. Conocimiento Local en el Cultivo de la Papa. Publicación realizada en conmemoración al Año Internacional de la Papa – 2008. Cochabamba, Bolivia. 134 p.

_____. (Promoción e Investigación de Productos Andinos). 2011. Catálogo de Nuevas Variedades de Papa en Bolivia. Cochabamba, Bolivia. 30 p.

PROSUKO. 2000. Evaluación de parámetros climáticos e hídricos en los sistemas de suka kollus y pampa. Informe Anual 1999/2000.

QUIROGA, A. 2008. Efecto de tres épocas de siembra y uso de variedades de papas como opciones de adaptación al cambio climático en la comunidad de Viluyo, Provincia Manco Kapac, La Paz. Tesis de Grado. La Paz, BO. 111 p.

QUISPE, M. 2013. Efecto de Bioinsumos Agrícolas en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum*) y en las propiedades del suelo en la Estación Experimental de Quipaquipani, Provincia Ingavi - La Paz. Tesis de Grado. La Paz, BO. 101 p.

REDVET (Revista electrónica de Veterinaria). 2009. Efecto del agua tratada magnéticamente sobre los procesos biológicos (en línea). Santa Clara, CU. Consultado el 21 de dic. 2016. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040409.html>

ROJAS, M. 2008. Tratamiento magnético del agua de regadío. Incremento de la producción, disminución del consumo de agua, fertilizantes y energía eléctrica. Torreón - Coahuila, México. 8 p.

_____. 2010. Tratamiento magnético del agua en la agricultura y ganadería. En: Asistencia técnica en tribología. México. Sonora. Talburt, W. Smith, O. 1987. Potato processing. 4th Edition. California, EE.UU. (110p).

SANCHEZ, R. 2003. Abonos Orgánicos y Lombricultura. Primera impresión. Lima, Perú. 17 p.

SANDOVAL, J. 2007. Principios de riego y drenaje. Facultad de Agronomía de la USAC, Guatemala. 4ta. Edición. Editorial Universitaria p. 34-115.

SENAMHI. 2014 - 2015. Centro Nacional de Meteorología e Hidrología (en línea). La Paz, BO. Consultado el 14 de dic. 2015 Disponible en: <http://www.senamhi.gob.bo/meteorologia/boletinmensualprecipitacion>

SUQUILANDA, M. 1984. Cultivos asociados en el Ecuador: una experiencia. IV Congreso Internacional de Cultivos Andinos. Centro Regional de Investigaciones, Obonuco, Pasto, ICA, Co. p 79-80.

TANGARA, E. 2007. Efecto de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en las propiedades físicas y químicas del suelo sobre el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en tres comunidades del altiplano central de Bolivia. Tesis de Grado. La Paz, BO.

TAPIA, M. 1990. Cultivos andinos explotados y su aporte en la alimentación. Lima, Perú. 205 p.

- UGARTE, M; IRIARTE, V. 2005. Papas bolivianas, "Catálogo de cien variedades nativas". CIP, COSUDE, PROINPA, 113 p.
- URRESTARAZU, M. 2007. Manual de cultivo de papa. Almería. Publicaciones Universidad de Almería. España. p. 20-24.
- VAQUIATA, B. 2016. Evaluación del riego por pulsos con modelación SIRMOD II en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad waych'a en el Centro Experimental de Cota Cota. Tesis de Grado. La Paz, BO. 148
- VASHISTH, A; NAGARAJAN, S. 2009. Germination characteristics of seeds of maize (*Zea mays* L.) exposed to magnetic fields under accelerated ageing condition, Journal of Agricultural Physics. p. 9, 50-58.
- WANG, H; KENT, D; ROCHETTE, P. 2015. Weaker axially dipolar time-averaged paleomagnetic field based on multidomain-corrected paleointensities from Galapagos lavas. Proceedings of the National Academy of Sciences, p. 112(49).
- ZEBALLOS, H. 1997. Aspectos económicos de la Producción de Papa en Bolivia. COSUDE - Centro Internacional de la Papa. Lima - Perú, 194 p.
- ZEBALLOS, H; BALDERRAMA, F; CONDORI, B; BLAJOS, J. 2009. Economía de la papa en Bolivia (1998-2007). Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. 129 p.
- ZÚÑIGA, O; OSORIO, J; CUERO, R; PEÑA, J. 2011. Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 64(1), 5769-5779.

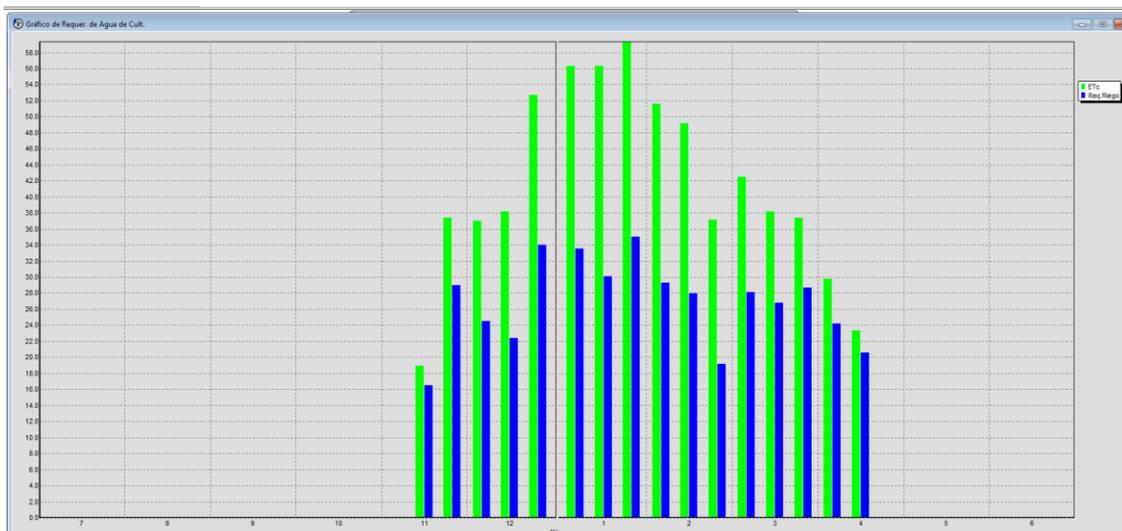
Determinación teórica del Requerimiento y Frecuencia de riego (programa CROPWAT)

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ET0		patacamaya		Cultivo		papa	
Est. de lluvia		patacamaya		Fecha de siembra		16/11	

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Nov	2	Inic	0.74	3.78	18.9	2.4	16.5
Nov	3	Inic	0.74	3.74	37.4	8.4	29.0
Dic	1	Inic	0.74	3.70	37.0	12.5	24.5
Dic	2	Des	0.77	3.82	38.2	15.8	22.4
Dic	3	Des	0.98	4.79	52.7	18.7	34.0
Ene	1	Med	1.16	5.63	56.3	22.7	33.5
Ene	2	Med	1.18	5.63	56.3	26.3	30.1
Ene	3	Med	1.18	5.40	59.4	24.4	35.0
Feb	1	Med	1.18	5.16	51.6	22.3	29.3
Feb	2	Fin	1.17	4.91	49.1	21.2	27.9
Feb	3	Fin	1.11	4.64	37.1	17.9	19.2
Mar	1	Fin	1.02	4.25	42.5	14.4	28.1
Mar	2	Fin	0.91	3.81	38.1	11.3	26.8
Mar	3	Fin	0.81	3.40	37.4	8.7	28.7
Abr	1	Fin	0.70	2.98	29.8	5.6	24.2
Abr	2	Fin	0.60	2.59	23.3	2.4	20.6
					665.2	235.1	429.9

**Gráfica del requerimiento de agua del cultivo
(programa CROPWAT)**



Programación y aplicación de riego en campo

Fecha de Aplicación	Edad (días)	Etapa del cultivo	LB requerida (mm)	PP efectiva (mm)	LN aplicada (mm)
20 - nov - 14	0	Siembra	18,9	10,9	8
30 - nov - 14	10	Emergencia	37,4	4,8	33
10 - dic - 14	20	Emergencia	37	11,6	25
20 - dic - 14	30	Emergencia	38,2	14,0	24
30 - dic - 14	40	Formación de estolones	52,7	22,0	31
09 - ene - 15	50	Floración	56,3	39,8	17
19 - ene - 15	60	Inicio de tuberización	56,3	33,9	22
29 - ene - 15	70	Floración	59,4	22,1	37
08 - feb - 15	80	Floración	51,6	10,7	41
18 - feb - 15	90	Floración	49,1	5,7	43
28 - feb - 15	100	Floración	37,1	11,3	26
10 - mar - 15	110	Floración	42,5	10,9	32
20 - mar - 15	120	Final floración	38,1	13,7	24
30 - mar - 15	130	Final de tuberización	37,4*	-	-
09 - abr - 15	140	Madurez	29,8*	-	-
19 - abr - 15	150	Madurez	23,3*	-	-
Total			574,6	211,4	363

(*) Laminas no aplicadas

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2014 - 2015)

Tabla de Ingresos y Egresos para el cultivo de papa sin riego (testigo)

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)
I. COSTOS DIRECTOS				
A. COSTOS DE CULTIVO				
1. Mano de Obra:				
1.1. Preparación de terreno (nivelación)	Jornal	4	70.00	280.00
1.2. Siembra	Jornal	4	70.00	280.00
1.3. Labores Culturales				
Deshierbe manual	Jornal	5	70.00	350.00
Aporque	Jornal	8	70.00	560.00
1.4. Control Fitosanitario	Jornal	2	70.00	140.00
1.5. Cosecha Manual	Jornal	15	70.00	1050.00
SUB-TOTAL DE MANO DE OBRA				2660.00
2. Maquinaria Agrícola y/o Tracción animal				
2.1. Arada	Hr./tra	4	80.00	320.00
2.2. Cruzada y Rastrada	Hr./tra	2	80.00	160.00
2.3. Surqueado	Hr./tra	2	80.00	160.00
SUB-TOTAL DE MAQUINARIA AGRICOLA y/o TRACCION ANIMAL				640.00
3. Insumos:				
3.1. Semilla	Bolsa 50 Kg	20	350.00	7000.00
3.2. Pesticidas	Bolsa	1	200.00	200.00
3.3. Materiales				
Bolsas de yute	Unidad	100	4.00	400.00
SUB-TOTAL DE INSUMOS				7600.00
B. GASTOS GENERALES				
1. Imprevistos (10%) cultivo	Global	0.1	10900.00	1090.00
SUB-TOTAL DE GASTOS GENERALES				1090.00
C. DEPRECIACIÓN				
Herramientas	Global	1	237.5	237.5
SUB-TOTAL DEPRECIACION				237.5
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (A+B+C)				12,227.50

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)
II. VALORIZACION DE LA COSECHA				
A. Rendimiento	kg./ha.			5650.00
B. Precio Promedio de Venta	Bs/kg			2.00
C. Valor Bruto de la Producción	Bs			11300.00
III. ANALISIS ECONÓMICO				
A. Producción Vendida (90% producción)	Bs	90%	11300.00	10170.00
B. Costos de producción	Bs			12227.50
C. Utilidad	Bs			-2057.50
D. Beneficio/Costo	Bs			0.83

Depreciaciones

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)	VIDA UTIL (Años)	DEPRECIACIÓN
A. DEPRECIACIONES						
1. HERRAMIENTAS						
Palas	Pieza	2	40.00	80.00	4	20.00
Picotas	Pieza	6	35.00	210.00	4	52.50
Hoz	Pieza	5	30.00	150.00	4	37.50
Azadón	Pieza	2	30.00	60.00	4	15.00
Chontillas	Pieza	15	30.00	450.00	4	112.50
SUB TOTAL DEPRECIACION						237.50

Tabla de Ingresos y Egresos para el cultivo de papa con sistema de riego por goteo con agua sin magnetizar

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)
I. COSTOS DIRECTOS				
A. COSTOS DE CULTIVO				
1. Mano de Obra:				
1.1. Preparación de terreno (nivelación)	Jornal	4	70.00	280.00
1.2. Siembra	Jornal	4	70.00	280.00
1.3. Labores Culturales				
Deshierbe manual	Jornal	5	70.00	350.00
Aporque	Jornal	8	70.00	560.00
Riego	Jornal	5	70.00	350.00
1.4. Control Fitosanitario	Jornal	2	70.00	140.00
1.5. Cosecha Manual	Jornal	17	70.00	1190.00
SUB-TOTAL DE MANO DE OBRA				3150.00
2. Maquinaria Agrícola y/o Tracción animal				
2.1. Arada	Hr./tra	4	80.00	320.00
2.2. Cruzada y Rastrada	Hr./tra	2	80.00	160.00
2.3. Surqueado	Hr./tra	2	80.00	160.00
SUB-TOTAL DE MAQUINARIA AGRICOLA y/o TRACCION ANIMAL				640.00
3. Insumos:				
3.1. Semilla	Bolsa 50 Kg	20	350.00	7000.00
3.2. Pesticidas	Bolsa	1	200.00	200.00
3.3. Materiales				
Bolsas de yute	Unidad	100	4.00	400.00
3.4. Energía eléctrica				
Para bombeo	kW-h	466,6	0.60	279.97
SUB-TOTAL DE INSUMOS				7879.97
B. GASTOS GENERALES				
1. Imprevistos (10%) cultivo	Global	0.1	11669.97	1167.00
SUB-TOTAL DE GASTOS GENERALES				1167.00
C. DEPRECIACIÓN				
Herramientas y Equipos	Global	1	7609.515	7,609.52
SUB-TOTAL DEPRECIACION				7,609.52
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (A+B+C)				20,446.5

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)
II. VALORIZACION DE LA COSECHA				
A. Rendimiento	kg./ha.			16650.00
B. Precio Promedio de Venta	Bs/kg			2.00
C. Valor Bruto de la Producción	Bs			33300.00
III. ANALISIS ECONÓMICO				
A. Producción Vendida (90% producción)	Bs	90%	33300.00	29970.00
B. Costos de producción	Bs			20,446.50
C. Utilidad	Bs			9,523.5
D. Beneficio/Costo	Bs			1.47

Depreciaciones

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)	VIDA UTIL (Años)	DEPRECIACIÓN
A. DEPRECIACIONES						
1. HERRAMIENTAS Y SISTEMA DE RIEGO						
Palas	Pieza	2	40.00	80.00	4	20.00
Picotas	Pieza	6	35.00	210.00	4	52.50
Hoz	Pieza	5	30.00	150.00	4	37.50
Azadón	Pieza	2	30.00	60.00	4	15.00
Chontillas	Pieza	15	30.00	450.00	4	112.50
Tanque de agua 5000 L.	Pieza	1	6500.00	6500.00	8	812.50
¹ Sistema de riego por Goteo	Global	1	52476.12	52476.12	8	6559.52
SUB TOTAL DEPRECIACION						7609.5

¹ Anexo 12

Tabla de Ingresos y Egresos para el cultivo de papa con sistema de riego por goteo con agua magnetizada

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)
I. COSTOS DIRECTOS				
A. COSTOS DE CULTIVO				
1. Mano de Obra:				
1.1. Preparación de terreno (nivelación)	Jornal	4	70.00	280.00
1.2. Siembra	Jornal	4	70.00	280.00
1.3. Labores Culturales				
Deshierbe manual	Jornal	5	70.00	350.00
Aporque	Jornal	8	70.00	560.00
Riego	Jornal	5	70.00	350.00
1.4. Control Fitosanitario	Jornal	2	70.00	140.00
1.5. Cosecha Manual	Jornal	20	70.00	1400.00
SUB-TOTAL DE MANO DE OBRA				3360.00
2. Maquinaria Agrícola y/o Tracción animal				
2.1. Arada	Hr./tra	4	80.00	320.00
2.2. Cruzada y Rastrada	Hr./tra	2	80.00	160.00
2.3. Surqueado	Hr./tra	2	80.00	160.00
SUB-TOTAL DE MAQUINARIA AGRICOLA y/o TRACCION ANIMAL				640.00
3. Insumos:				
3.1. Semilla	Bolsa 50 Kg	20	350.00	7000.00
3.2. Pesticidas	Bolsa	1	200.00	200.00
3.3. Materiales				
Bolsas de yute	Unidad	100	4.00	400.00
3.4. Energía eléctrica				
Para bombeo	kW-h	466,6	0.60	279.960
Para magnetización	kW-h	27,8	0.60	16.64
SUB-TOTAL DE INSUMOS				7896.64
B. GASTOS GENERALES				
1. Imprevistos (10%) cultivo	Global	0.1	11896.66	1189.66
SUB-TOTAL DE GASTOS GENERALES				1189.66
C. GASTOS DE MAGNETIZACIÓN				
1. Mano de obra	Global	1	1,408.00	1,408.00
2. Depreciación Herramientas y Equipos	Global	1	8,187.64	8,187.64
SUB-TOTAL DEPRECIACIÓN				9595.64
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN (A+B+C)				22,681.9

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)
II. VALORIZACION DE LA COSECHA				
A. Rendimiento	kg./ha.			29600.00
B. Precio Promedio de Venta	Bs/kg			2.00
C. Valor Bruto de la Producción	Bs			59200.00
III. ANALISIS ECONÓMICO				
A. Producción Vendida (90% producción)	Bs	90%	59200.00	53280.00
B. Costos de producción	Bs			22,681.9
C. Utilidad	Bs			30,598.1
D. Beneficio/Costo	Bs			2.35

Gastos de Magnetización

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)
A. MANO DE OBRA				
1. Mano de Obra:				
Reconocimiento del terreno	Jornal	1	150.00	150.00
Diseño	Jornal	1	250.00	250.00
Instalación	Jornal	2	180.00	360.00
Operarios	Jornal	3.6	180.00	648.00
SUB-TOTAL DE MANO DE OBRA				1,408.00

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)	VIDA UTIL (Años)	DEPRECIACIÓN
B. DEPRECIACIONES						
2. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS						
Palas	Pieza	2	40.00	80.00	4	20.00
Picotas	Pieza	6	35.00	210.00	4	52.50
Hoz	Pieza	5	30.00	150.00	4	37.50
Azadón	Pieza	2	30.00	60.00	4	15.00
Chontillas	Pieza	15	30.00	450.00	4	112.50
² Equipo Magnetizador	Global	1	11,125.00	11,125.00	8	1,390.63
³ Sistema de riego por Goteo	Global	1	52476.12	52476.12	8	6559.52
SUB TOTAL DEPRECIACION						8,187.64

² Anexo 11

³ Anexo 12

Equipo Magnetizador para 1 hectárea

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)
Accesorios				
Magnetizador	Pieza	1	200.00	200.00
Equipo de control	Global	1	1500.00	1500.00
Electro-válvulas	Pieza	5	250.00	1250.00
Tanque de agua DE 5000 L.	Pieza	1	6500.00	6500.00
Cables	Global	335	5.00	1675.00
COSTO TOTAL DEL EQUIPO				11,125.00

Accesorios del Sistema de riego por goteo para 1 hectárea

	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	P.Unitario (Bs)	P.total (Bs)
1	Abrazaderas (silleta)de 1 1/2" x 1"	pieza	8	40.00	320.00
2	Abrazaderas (silleta) de 32mm x 1/2"	pieza	8	25.00	200.00
3	Tapones 1/2" PVC R.H	pieza	12	2.50	30.00
4	Llave de paso Cortina de 1"	pieza	16	100.00	1600.00
5	Niple Hexagonal PVC 1"	pieza	8	4.00	32.00
6	Unión Universal 1" PVC	pieza	8	22.00	176.00
7	Tee de 1" PVC	pieza	14	13.00	182.00
8	Codo PVC 90° 1 1/2"	pieza	8	10.50	84.00
9	Buje reducción 1 1/2" x 1" PVC	pieza	8	6.00	48.00
10	Tapón PVC R.H de 1"	pieza	33	4.50	148.50
11	Tee de 1/2" PVC	pieza	8	21.00	168.00
12	Unión Universal 1 1/2" PVC	pieza	4	50.00	200.00
13	Niple Hexagonal PVC 1 1/2"	pieza	6	7.00	42.00
14	Llave de paso Cortina de 1 1/2" Bronce	pieza	8	186.00	1488.00
15	Buje reducción 1 1/2" x 1/2" PVC	pieza	4	7.00	28.00
16	Válvula Ramal/paso manguera cinta 16 mm	pieza	127	7.50	952.50
17	Conector toma inicial + empaque /Goma bilabial 16mm	pieza	127	1.80	228.60
18	Toma para Cinta / Unión Manguera Cinta 16 mm	pieza	127	2.20	279.40
19	Tapón Final para Manguera PE dentado 16mm	pieza	140	1.80	252.00
20	Politubo HDPE 1/2"	metro	12	5.70	68.40
21	Politubo HDPE 1"	metro	172	11.20	1926.40
22	Tubo PVC 1 1/2" C-15	barra	24	87.00	2088.00
23	Manguera con Gotero Integrados 2LPH/ 0.3 m / 16 mm/ rollo = 500 m	rollo	25	1500	37500.00
24	Manómetros de glicerina	pieza	5	180.00	900.00
25	Válvula de Retención 1 1/2" Bronce	pieza	1	170.00	170.00
26	Filtro de Anillas 1 1/2"	pieza	1	240.00	240.00
27	Bomba centrífuga con motor eléctrico 2 HP	pieza	1	3124.32	3124.32
				TOTAL	52,476.12

Procedimiento Experimental (Fotografías)

A. Preparación del terreno



a.1. Roturado



a.2. Elaboración de surcos

B. Siembra



C. Desarrollo del cultivo



c.1. Emergencia

D. Implementación e Instalación del Sistema de riego



d.1. Sistema de goteo con electroválvulas



d.2. Distribución del Sistema de riego

E. Crecimiento (toma de datos)



e.1. Altura de la planta



e.2. Diámetro del tallo

F. Cosecha (toma de datos)



f.1. Cosecha manual por tratamientos



f.2. Peso por tubérculo



f.3. Número de tubérculos por planta