

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



**TESIS DE GRADO**

**RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO MEDIANTE SENSORES EN TRES  
VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN LA ESTACIÓN  
EXPERIMENTAL DE CHOQUENAIRA – VIACHA**

**FABIOLA FIGUEREDO FERNANDEZ**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2018**

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

**RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO MEDIANTE SENSORES EN TRES  
VARIETADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN LA ESTACIÓN  
EXPERIMENTAL DE CHOQUENAIRA – VIACHA**

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

**FABIOLA FIGUEREDO FERNANDEZ**

**ASESORES:**

Ing. Ph. D. René Chipana Rivera .....

Ing. M.Sc. Marcelo Tarqui Delgado .....

**REVISORES:**

Ing. M.Sc. Paulino Ruiz Huanca .....

Ing. M.Sc. Juan José Vicente Rojas .....

Ing. M.Sc. Fanny Bertha Arragan Tancara .....

**APROBADA**

**Presidente Tribunal Examinador .....**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2018**

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo, a Dios y a toda mi familia, en especial a mis padres Eleuterio Figueredo y Lucía Fernandez a mis hermanos (as) Mery, Jhon, Yuly, Mercedes y Emanuel Figueredo.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a DIOS, por colmarme de bendiciones quien me dio la fe, la fortaleza, la salud, la esperanza y la sabiduría para la culminación de este trabajo.

Agradezco a la Universidad Mayor de San Andrés, por todos los conocimientos adquiridos, especialmente a la Facultad de Agronomía y a todo el plantel de Docentes.

Expresar mi agradecimiento al Proyecto “Programación del Riego Deficitario Controlado en Cultivos Andinos de Papa (*Solanum tuberosum*), Papalisa (*Ullucus tuberosus*) y Tarwi (*Lupinus mutabilis*) mediante sensores, para un uso racional del Agua como Medida Frente al Cambio Climático”, en la Estación Experimental Choquenaira, por darme la oportunidad de realizar mi Tesis.

A mis asesores Ing. Ph. D. René Chipana Rivera, Ing. M.Sc. Marcelo Tarqui Delgado por su asesoramiento y apoyo constante para la culminación del presente trabajo.

De la misma manera un agradecimiento especial a mis tribunales Ing. M.Sc. Juan José Vicente, Ing. M.Sc. Fanny Bertha Arragan Tancara, Ing. M Sc. Paulino Ruiz Huanca por las revisiones, observaciones y sugerencias realizadas para mejorar el presente trabajo.

Un agradecimiento especial a mis padres, Eleuterio Figueredo y Lucia Fernandez por el apoyo incondicional brindado para mi formación académica.

A mis hermanos, Mery, Jhon, Yuly, Mercedes y Emanuel Figueredo por estar a mi lado en los buenos y malos momentos.

Igualmente agradecer a Eduardo Clavijo que siempre me dio su apoyo incondicional que me brindo durante el desarrollo de la tesis.

A mis compañeros, amigos, estudiantes, trabajadores y docentes de la facultad de agronomía y de la Estación Experimental Choquenaira, gracias por su amistad, consejos y ayudas

## ÍNDICE

	Paginas
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Justificación.....	2
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1. Objetivo General .....	2
2.2. Objetivo Especifico.....	2
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
3.1. El cultivo de papa.....	3
3.1.1. Cultivo de papa en Bolivia .....	3
3.1.2. Importancia económica y social .....	3
3.2. Superficie y rendimiento de papa en Bolivia .....	4
3.3. Clasificación taxonómica de la papa .....	5
3.4. Morfología de la papa .....	5
3.5. Variedades de papa.....	7
3.5.1. Descripción de la Variedad Waycha Paceña ( <i>Solanum tuberosum</i> L. ssp. andígena).....	7
3.5.2. Descripción de la variedad Luk'i ( <i>Solanum juzepczukii</i> ) .....	8
3.5.3. Descripción de la variedad de estudio Phiñu ( <i>Solanum tuberosum</i> ssp.) .....	8
3.6. Producción y Rendimiento del cultivo de papa en Bolivia .....	8
3.6.1. Rendimiento en el Departamento de La Paz .....	9
3.6.2. Rendimiento en el altiplano norte.....	9
3.7. Requerimientos climáticos del cultivo de papa.....	9
3.7.1. Fotoperiodo.....	10
3.7.2. Temperatura .....	10
3.7.3. El cultivo de papa y el cambio climático.....	11

3.7.3.1 Problemas de cambio climático para el cultivo de papa .....	11
3.8. Contenido de materia orgánica .....	12
3.9. Necesidades hídricas de la papa .....	12
3.10. Fases fenológicas de la papa.....	13
3.11. Manejo agronómico del cultivo de papa.....	14
3.12. Abonos orgánicos. ....	17
3.13. Fertilizantes químicos. ....	17
3.14. Enfermedades y plagas del cultivo de papa.....	18
3.14.1. Enfermedades.....	18
3.14.2. Plagas.....	19
3.15. Importancia del agua en la agricultura .....	20
3.15.1. Efecto de la deficiencia de agua sobre las plantas .....	20
3.15.2. Necesidades hídricas de la papa .....	20
3.16. Riego.....	21
3.16.1. Características físicas del suelo respecto al riego .....	23
3.16.1.1. Profundidad efectiva .....	23
3.16.2. Requerimientos edáficos para el cultivo de papa.....	24
3.16.3. Efecto del déficit hídrico en distintas fases de desarrollo de la papa .....	25
3.16.4. Programación de riego.....	26
3.16.4.1. Métodos de cálculo del requerimiento hídrico .....	26
3.16.4.1.1. Método en base a parámetros climáticos .....	26
3.16.4.1.2. Método en base a la humedad del suelo.....	26
3.16.4.1.3. Método basado en el estado hídrico del cultivo.....	27
3.16.4.1.4. Método de balance de agua en el suelo.....	27
3.16.5. Riego deficitario controlado .....	32
3.16.5.1. Estrategias de riego deficitario .....	32
3.16.5.2. Fundamentos del riego deficitario controlado .....	33
3.16.6. Riego en el altiplano .....	33

3.17. Productividad del agua.....	33
3.17.1. Evapotranspiración .....	34
3.17.1.1. Evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ) .....	34
3.17.1.2. Evapotranspiración del cultivo (ET <sub>c</sub> ) .....	35
3.17.1.3. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET <sub>caj</sub> ).....	35
3.17.1.4. Factores que afectan la evapotranspiración .....	36
3.18. Infiltración.....	36
3.19. Frecuencia de riego .....	37
3.20. Riego y rendimiento .....	37
3.20.1. Productividad del agua .....	38
3.20.2. Eficiencia de uso del agua .....	39
3.21. Evaluación de la humedad en el suelo (FDR portátil Diviner) .....	39
3.21.1. Método en base a la humedad del suelo .....	39
3.21.2. Diviner FDR .....	40
3.22. Cámara de Scholander .....	40
<b>4. LOCALIZACIÓN .....</b>	<b>41</b>
4.1. Ubicación geográfica.....	41
4.2. Descripción de la zona del estudio.....	43
4.2.1. Clima.....	43
4.2.2. Fisiografía y vegetación .....	43
4.2.3. Suelo.....	44
4.2.4. Recursos hídricos.....	44
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>45</b>
5.1. Materiales .....	45
5.1.1. Material vegetal.....	45
5.1.2. Material de campo .....	45

5.1.3 Material y equipos de investigación.....	45
5.1.4. Material de gabinete .....	45
5.2. Métodos .....	45
5.2.1. Establecimiento de la parcela experimental.....	46
5.2.2. Muestreo de suelo .....	46
5.2.2. Prueba de infiltración .....	47
5.2.2.1. Calicata.....	48
5.2.3. Muestreo del agua para riego .....	48
5.2.4. Preparación del terreno .....	49
5.2.5. Siembra .....	49
5.2.6. Instalación de tubos PVC (Diviner) .....	50
5.2.7. Labores culturales.....	51
5.2.7.1. Primer aporque: irnaka .....	51
5.2.7.2. Segundo aporque: Kahua.....	51
5.2.7.3. Deshierbe .....	52
5.2.7.4. Control de plagas y hongos .....	52
5.2.7.5. Cosecha y Poscosecha .....	53
5.2.8. Riego .....	54
5.2.9. Registro datos climáticos .....	54
5.2.10. Cálculo de las láminas de riego .....	54
5.2.12. Diseño de investigación .....	55
5.2.12.1. Modelo lineal aditivo .....	55
5.2.12.2. Factores de estudio .....	55
5.2.12.3. Tratamientos.....	56
5.2.12.4. Características del campo experimental.....	56
5.2.12.5. Croquis experimental.....	57
5.2.13. Variables de respuesta .....	58
5.2.13.1. Porcentaje de emergencia.....	58
5.2.13.2. Variables agronómicas .....	58
5.2.13.2.1. Altura de la planta .....	58
5.2.13.2.2. Número de tallos por planta .....	59



5.2.13.2.3. Número de tubérculos por planta .....	59
5.2.13.2.4. Peso de tubérculos por planta.....	60
5.2.14. Rendimiento.....	60
5.2.15. Evaluación de Sensores .....	61
5.2.15.1 Evaluación de Diviner (FDR) .....	61
5.2.15.2 Cámara de Scholander o Cámara de presión .....	61
5.2.16. Productividad del agua .....	62
5.2.16.1. Eficiencia de uso del agua.....	63
5.2.17. Análisis económico .....	63
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>65</b>
6.1. Características climatológicas en Estación Experimental de Choquenaira .....	65
6.1.1. Temperatura .....	65
6.1.2. Radiación solar .....	66
6.1.3. Velocidad del viento durante el periodo vegetativo de la papa .....	67
6.1.4. Evaluación de las precipitaciones y la evapotranspiración de referencia durante el periodo vegetativo de la papa.....	68
6.2. Descripción de las características edáficas de la zona de estudio .....	69
6.2.1. Descripción del perfil del suelo .....	69
6.2.2. Calculo de densidad aparente .....	70
6.2.3 Características físicas del suelo.....	71
6.2.4. Características químicas del suelo del área experimental. ....	72
6.2.5. Análisis de agua.....	73
6.3. Láminas de riego aplicado en el cultivo de papa .....	74
6.4. Contenido de humedad del suelo.....	75
6.5. Resultados de las variables de respuesta.....	76
6.5.1. Variables fenológicas.....	76
a) Porcentaje de la emergencia .....	76
6.5.2. Variables agronómicas .....	77
6.5.2.1. Altura de planta .....	77

6.5.2.2. Número de hojas .....	80
6.6. Variables de rendimiento .....	83
6.6.1. Número de tubérculos por planta.....	83
6.6.2. Rendimiento tn/ha.....	86
6.7. Potencial hídrico de la hoja (Scholander).....	89
6.8. Evaluación de la productividad del agua.....	91
6.8.1. Productividad del agua .....	91
6.8.2. Índice de eficiencia de uso del agua (IEUA) .....	93
6.9. Análisis de costos de producción .....	95
6.9.1. Beneficio bruto .....	95
6.9.2. Beneficio neto .....	96
6.9.3. Relación beneficio costo .....	96
<b>7. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>97</b>
<b>8. RECOMEDANCIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>100</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Paginas</b>
<b>Figura 1</b>	Faces fenológicas de papa..... 14
<b>Figura 2</b>	Ubicación de la parcela de investigación..... 42
<b>Figura 3</b>	Muestreo de suelo..... 46
<b>Figura 4</b>	Prueba de infiltración..... 48
<b>Figura 5</b>	Muestreo de agua..... 49
<b>Figura 6</b>	Preparación de terreno..... 49
<b>Figura 7</b>	Siembra de variedades Waycha, Luk'i y Phiñu..... 50
<b>Figura 8</b>	Instalación de tubos PVC (Diviner)..... 50
<b>Figura 9</b>	Primer aporque..... 51
<b>Figura 10</b>	Segundo aporque..... 52
<b>Figura 11</b>	Deshierbe de la parcela..... 52
<b>Figura 12</b>	Aplicación de plaguicida..... 53
<b>Figura 13</b>	Cosecha de papa..... 53
<b>Figura 14</b>	Croquis de la distribución de tratamiento..... 57
<b>Figura 15</b>	Toma de datos de altura..... 58
<b>Figura 16</b>	Toma de datos de número de hojas..... 59
<b>Figura 17</b>	Número de tubérculos por planta..... 59
<b>Figura 18</b>	Peso de tubérculos por planta..... 60
<b>Figura 19</b>	Evaluación del rendimiento..... 60
<b>Figura 20</b>	Toma de datos de la humedad..... 61
<b>Figura 21</b>	Toma de datos de cámara de Scholander..... 62
<b>Figura 22</b>	Promedios mensuales de temperaturas máximas y mínimas registradas en la Estación Experimental Choquenaira..... 65
<b>Figura 23</b>	Radiación solar ocurrida durante el desarrollo vegetativo del cultivo..... 66
<b>Figura 24</b>	Velocidad media del viento ocurrida durante el desarrollo vegetativo del cultivo..... 67

<b>Figura 25</b>	Comportamiento de evapotranspiración de referencia Eto y PP en la Estación Experimental de Choquenaira - Viacha.....	69
<b>Figura 26</b>	Descripción del perfil del suelo.....	70
<b>Figura 27</b>	Volumen total de agua aplicado (riego + precipitación efectiva).	75
<b>Figura 28</b>	Humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo.....	76
<b>Figura 29</b>	Porcentaje de emergencia.....	77
<b>Figura 30</b>	Altura obtenida en promedio de cada variedad.....	79
<b>Figura 31</b>	Alturas de planta de variedades de papa por efecto de tres niveles de riego.....	80
<b>Figura 32</b>	Número de hojas por planta con la aplicación de niveles de riego.....	82
<b>Figura 33</b>	Promedio de número de tubérculos por planta de las variedades.....	84
<b>Figura 34</b>	Número de tubérculos por planta.....	85
<b>Figura 35</b>	Promedio de los rendimientos tn/ha de las variedades.....	87
<b>Figura 36</b>	Rendimiento de los diferentes tratamiento.....	88
<b>Figura 37</b>	Tres hídrico de la planta variedad Luk'i .....	89
<b>Figura 38</b>	Estrés hídrico de la planta variedad Phiñu.....	89
<b>Figura 39</b>	Estrés hídrico de la planta variedad Waycha.....	90
<b>Figura 40</b>	Productividad del agua (kg/m <sup>3</sup> ).....	92
<b>Figura 41</b>	Eficiencia del uso del agua de las diferentes variedades.....	94

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Paginas</b>
<b>Cuadro 1</b>	Datos básicos sobre producción, superficie y rendimiento de papa..... 4
<b>Cuadro 2</b>	Condiciones que determinan la profundidad de siembra..... 15
<b>Cuadro 3</b>	Enfermedades que más se difunden en el altiplano..... 18
<b>Cuadro 4</b>	Plagas de cultivo de papa..... 19
<b>Cuadro 5</b>	Métodos de riego con sus ventajas y desventajas..... 22
<b>Cuadro 6</b>	Clasificación de la profundidad de suelo para el uso agrícola.... 23
<b>Cuadro 7</b>	Las cuatro fases de agua..... 29
<b>Cuadro 8</b>	Distribución de los tratamientos..... 56
<b>Cuadro 9</b>	Características de parcela experimental..... 57
<b>Cuadro 10</b>	Precipitación y evapotranspiración de referencia..... 68
<b>Cuadro 11</b>	Densidad aparente del suelo..... 71
<b>Cuadro 12</b>	Características físicas del suelo..... 71
<b>Cuadro 13</b>	Características químicas del suelo..... 72
<b>Cuadro 14</b>	Resultados de análisis químico de agua de riego..... 73
<b>Cuadro 15</b>	Volumen total de agua aplicado, riego más la precipitación..... 74
<b>Cuadro 16</b>	El análisis de varianza (ANVA), altura de planta..... 78
<b>Cuadro 17</b>	Comparación de medias de la altura de la planta..... 79
<b>Cuadro 18</b>	El análisis de varianza (ANVA), número de hojas..... 81
<b>Cuadro 19</b>	Análisis de varianza (ANVA), número de tubérculos por planta 83
<b>Cuadro 20</b>	Comparación de medias, número de tubérculos por planta..... 84
<b>Cuadro 21</b>	El análisis de varianza (ANVA), rendimiento de las variedades de papa..... 86
<b>Cuadro 22</b>	Comparación de medias del rendimiento tn/ha..... 87
<b>Cuadro 23</b>	Volúmenes de agua aplicada y producción total en papa..... 91
<b>Cuadro 24</b>	Índice de eficiencia de uso del agua..... 93
<b>Cuadro 25</b>	Análisis de costos de producción..... 95

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Paginas</b>
<b>Anexo 1</b>	Promedio de número de hojas de las tres variedades..... <b>107</b>
<b>Anexo 2</b>	Promedio de altura de papa de las tres variedades de papa.. <b>107</b>
<b>Anexo 3</b>	Promedio de número de tubérculos por planta de las tres variedades..... <b>107</b>
<b>Anexo 4</b>	Promedio de rendimiento tn/ha de las tres variedades papa.. <b>108</b>
<b>Anexo 5</b>	Promedio de humedad FDR (Diviner)..... <b>108</b>
<b>Anexo 6</b>	Costos de producción del cultivo de papa Variedad Waycha por hectárea..... <b>109</b>
<b>Anexo 7</b>	Costos de producción del cultivo de papa Variedad Luk'i por hectárea..... <b>110</b>
<b>Anexo 8</b>	Costos de producción del cultivo de papa Variedad Phiñu por hectárea..... <b>111</b>
<b>Anexo 9</b>	Análisis físico químico de suelo..... <b>112</b>
<b>Anexo 10</b>	Análisis químico de agua..... <b>113</b>
<b>Anexo 11</b>	Aporque..... <b>114</b>
<b>Anexo 12</b>	Toma de dato Scholander..... <b>114</b>
<b>Anexo 13</b>	Toma de dato Diviner (FDR)..... <b>114</b>
<b>Anexo 14</b>	Fumigación de parcela..... <b>115</b>
<b>Anexo 15</b>	Riego a la parcela..... <b>115</b>
<b>Anexo 16</b>	Toma de dato del peso..... <b>115</b>
<b>Anexo 17</b>	Cosecha de la parcela..... <b>115</b>

## RESUMEN

En nuestro país el manejo y uso del agua para riego es poco eficiente, a pesar de que el gobierno ha venido impulsando proyectos de riego en los cuales no se contempla debidamente lo que es la frecuencia, lámina y tiempos de riego. Entre los principales problemas que limitan el incremento de la producción y la productividad del cultivo de papa, están la disponibilidad del agua de riego, además del uso y manejo ineficiente de este recurso. En éste contexto, con la finalidad de optimizar el uso del agua de riego y definir estrategias de riego que utilicen menores cantidades de agua, se evaluaron nueve tratamientos con tres variedades de papa aplicando tres niveles de riego y para cada tratamiento se le aplicó 100%, 75% y 50% de lámina de riego. La humedad que fue evaluada con FDR (Diviner), Scholander que midió el estrés hídrico de la hoja. El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental de Choquenaira – Viacha, provincia Ingavi del departamento de La Paz, durante la campaña agrícola 2016 - 2017. El diseño de investigación fue bloque al azar con parcelas divididas con nueve tratamientos. En la altura de planta, en promedio entre las variedades (factor A), la variedad Waycha presentó mayor crecimiento de 39,78 cm de altura, en cuanto a las láminas (factor B), no obtuvo diferencias significativas. En el número de tubérculos por planta, se determinó que existen diferencias significativas entre las variedades (factor A), en la cual la variedad que presento un mayor número de tubérculos en promedio fue la Luk'i con 22,33 unidades de papa, en cuanto a las láminas (factor B) no existe diferencias significativas. En el rendimiento tenemos 64, 50 y 43 tn/ha en la variedad Waycha, 57, 52 y 49 tn/ha en la variedad Luk'i y 35, 34 y 29 tn/ha en la variedad Phiñu. Determinando el estrés hídrico en las plantas de las tres variedades de papa: Luk'i, Phiñu y Waycha con la aplicación de tres niveles de riego se observó que no hay mucha diferencias significativas. Referente a los valores del índice de eficiencia de uso del agua de las distintas variedades y láminas de riego, en la variedad Luk'i el T3 (lámina 50 %), presentó un mejor Índice de eficiencia del uso de agua, indicando que para la producción de 1 kilogramo de papa es necesario utilizar 85,40 litros de agua, en la variedad Phiñu el T5 (lámina 75 %), presentó un mejor índice de eficiencia de

uso del agua indicando que para la producción de 1 kilogramo de papa es necesario utilizar 136,24 litros de agua y en la variedad Waycha el T8 (lámina 75 %), presentó un mejor índice de eficiencia de uso del agua, indicando que para la producción de 1 kilogramo de papa es necesario utilizar 72,36 litros de agua.

En relación de beneficio / costo T2 - T1 (Variedad Luk'i \* L2 75% - L1 100%), son más rentables 5,7 - 5,6 (Variedad Phiñu\*L2 75 %) es más rentable económicamente con 3,5 y T8 (Variedad Waycha \* L2 75%), es más rentable con 6,4 con los tratamientos mencionados obtuvieron mayor rendimiento, del beneficio/costo.



## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento vital de nuestro planeta, ya que permite a las plantas, animales y otros seres vivos mantener su existencia, es así que en la agricultura tiene un papel muy importante para el desarrollo de las plantas o de los cultivos. Lamentablemente la disponibilidad de agua en nuestro planeta va disminuyendo, tanto para consumo humano (agua potable) como para los cultivos (agua para riego), influyendo negativamente en la agricultura, provocando bajos rendimientos y hasta pérdidas totales de las cosechas, así como una disminución de la superficie bajo riego.

El altiplano Boliviano al ser una región fría, seca y de mucho viento, presenta bajas Precipitaciones, la cual puede estar ligada también al cambio climático que se está atravesando hoy por hoy en todo el planeta, provocando de esta forma escasez de Agua para el riego de los cultivos, con la consecuente reducción del rendimiento.

La papa (*Solanum tuberosum*), es un cultivo que requiere riego para alcanzar altos rendimientos y constituye uno de los tubérculos andinos base de la alimentación de la población, su aporte nutricional se caracteriza por ser una fuente importante de proteína, almidón, ceniza y grasa, además de minerales y vitaminas. Su importancia se refleja por su Amplio grado de adaptabilidad a un rango amplio de pisos ecológicos de nuestro país.

En nuestro país el manejo y uso del agua para riego es poco eficiente, a pesar de que el gobierno ha venido impulsando proyectos de riego en los cuales no se contempla debidamente lo que es la frecuencia, lámina y tiempos de riego, y mucho menos técnicas y/o estrategias como es el riego deficitario controlado (RDC), que contribuyan a un uso adecuado y eficiente del recurso agua.

El desarrollo agrícola, en la Estación Experimental de Choquenaira - Viacha basado en la conservación y mejora de la eficiencia de uso del agua, a través de la implementación de riego deficitario controlado (RDC), que consiste en reducir la cantidad de agua aplicada por debajo del máximo utilizado por el cultivo, permitiendo

un estrés moderado con mínimo impacto en los rendimientos, resulta ser una estrategia de adaptación a los nuevos escenarios climáticos, que se implementa con los sensores: FDR Diviner es el que controla la humedad del suelo a diferentes profundidades, Cámara de Scholander es la que calcula el potencial hídrico de la hoja, lo cual estará sometido en las variedades de papa: Luk'i , Phiñu y Waycha.

### **1.1. Justificación**

Con la presente investigación se pretende formular estrategias y soluciones para afrontar la escasez y uso inadecuado del agua de riego, bajos rendimientos y pérdidas en la producción en el cultivo de papa. Entonces se busca elevar los rendimientos e incrementar el área de siembra de este cultivo, mediante la aplicación del riego deficitario controlado (RDC), con la implementación de sensores, con los cuales se evaluara el uso eficiente del agua en el cultivo papa.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Evaluar el efecto de riego deficitario controlado mediante sensores en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en Estación Experimental de Choquenaira - Viacha.

### **2.2. Objetivo Especifico**

- Determinar el efecto de láminas de riego en el comportamiento agronómico de tres variedades de papa.
- Determinar el estrés hídrico de tres variedades de papa por la aplicación de tres láminas de riego.
- Evaluar los costos de producción de las tres variedades de papa considerando la aplicación de riego deficitario.

### **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. El cultivo de papa**

La papa, (*Solanum tuberosum*) pertenece a la familia de las solanáceas, es originario de América del Sur, en la región andina entre Perú y Bolivia. Un centro secundario de origen se ubica en la isla de Chiloé, en el sur de Chile (Tapia y Fries 2007).

Papa es uno de los cultivos de mayor importancia y es la principal fuente de ingresos económicos para la mayor parte de las familias campesinas de la zona del altiplano y valles del país. Más de 200 mil familias están involucradas en el proceso de producción y otras 40 mil personas en la intermediación, venta y provisión de insumos (Crespo, 2003).

Comparativamente, el subsector papero en Bolivia ocupa el 6,5% de la superficie cultivada con aproximadamente 177 mil hectáreas cultivadas. La producción ha llegado a más de 943 mil toneladas, con un rendimiento promedio de 5,3 t ha (IBCE, 2012).

##### **3.1.1. Cultivo de papa en Bolivia**

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

##### **3.1.2. Importancia económica y social**

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

La papa es el cuarto cultivo alimenticio en orden de importancia a nivel mundial después del trigo, el arroz y el maíz. Entre los cultivos andinos, la papa es de lejos el

más importante por su contribución económica, nutricional y de generación de empleo, contribuye a la economía con \$us. 150 millones al año, generando empleo y sobre todo, alimento relativamente barato para la población, (CEPA, 2008).

### 3.2. Superficie y rendimiento de papa en Bolivia

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

La superficie cultivada en la gestión agrícola de 2012 a 2013 alcanzó en 173.168 ha, con rendimientos de 3,53 tn/ha llegando a obtener una producción anual de 612.768 tn (INE, 2015).

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

**Cuadro 1.** Datos básicos sobre producción, superficie, rendimiento de papa, por habitante rural por departamento. Promedio 2005 – 2007

Departamento	Producción (tn)	Superficie Cultivada	Rendimiento	Producción/habitante rural
La Paz	200.599	34,439	5,825	638
Oruro	32,481	8,555	3,796	209
Potosí	153,309	28,015	5,472	302
Santa cruz	60,511	60,511	7,85	125
Beni	0	0	0	
Pando	0	0	0	
Chuquisaca	112,952	112,952	18,517	351
Cochabamba	136,632	136,632	20,053	227
Tarija	64,467	64,467	9,655	446
<b>Total</b>	<b>760,951</b>	<b>760,951</b>	<b>126,943</b>	

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

El rendimiento de papa promedio es de 5 - 5,9 tn/ha, poco ha variado en los últimos 40 años, tal como lo reporta el CIP (Centro Internacional de la Papa), estando entre los más bajos en Latinoamérica y el mundo (Tito *et al.* 2015).

### 3.3. Clasificación taxonómica de la papa

Según Rojas (2001), la papa tiene la siguiente clasificación taxonómica:

**Reino:** Vegetal

**Subreino:** Embryobionta (Cormofitas)

**Division:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Orden:** Solanales

**Familia:** Solanaceae

**Género:** *Solanum*

**Especie:** *S. tuberosum* L.

**Nombre Común:** Papa, patata

### 3.4. Morfología de la papa

**Tubérculo:** Son tallos subterráneos modificados provistos de yemas, ojos y en cada ojo existen normalmente tres yemas los ojos del tubérculo morfológicamente corresponden a los nudos de los tallos, las cejas representantes 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 da 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 (Perdave, 2004).

**Raíces:** Las plantas de papa pueden desarrollarse a partir de una semilla o de un tubérculo, las plantas provenientes 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 en los nudos los estolones emergen en grupos de 3 a 4 raíces adventicias (Pardave, 2004).

**Tallos.-** El sistema de tallos de la papa, consta de tallos aéreos, estolones y tubérculos, la planta proveniente de semilla, tiene un solo tallo principal, mientras las que provienen de tubérculos pueden producir varios tallos principales. Las yemas que se forman en el tallo principal y a la altura de las axilas de las hojas, pueden desarrollarse para llegar a formar tallos laterales secundarios, estolones e inflorescencia (Huaman, 1986).

**Hojas.-** Las hojas son alternas compuestas formadas por raquis, folíolos, peciolo cada raquis lleva varios pares de folíolos laterales primarios y un folíolo terminal, están provistas de pelos de diversos tipos que se encuentran también presentes en las demás partes aéreas de la planta (Huaman, 1986).

**Inflorescencia de la 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 aproximadamente de 300 a 400 semillas. Las

semillas son amarillas o castañas-amarillentas, pequeñas ovaladas o uniformes (Pardave, 2004).

### **3.5. Variedades de papa**

Cáceres (1993), menciona que la papa se cultiva en los Andes desde hace 8000 años. Los nativos seleccionaron muchas variedades de papa de acuerdo a sus necesidades locales y especialmente de acuerdo a la respuesta biológica de este cultivo. Esta impresionante selección dio como resultado miles de distintos tipos de papa a tal punto que algunos pobladores de los Andes logran cultivar hasta 200 diferentes variedades de papa en una sola área, muchas de estas variedades andinas son diferentes a las conocidas comúnmente, pues poseen cáscaras de variados colores y texturas, y diversas formas, con deliciosos sabores y de alto contenido nutricional.

#### **3.5.1. Descripción de la Variedad Waycha Paceña (*Solanum tuberosum L. ssp. andígena*)**

De acuerdo con Ugarte (1992), citado por Marino (2010), esta variedad se caracteriza porque tiene un hábito de crecimiento semi - erecto, tallo de color verde con poca pigmentación, color de flor 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 150-180 días. Presenta un rendimiento medio de 15-25 t/ha. La papa Waycha es una planta vigorosa, desde 40 - 120 cm de alto, ramosas, ramas abiertas algo extendidas. Tallos gruesos y carnosos de 8-20 mm de diámetro hacia la base, entrenudos alargados, más o menos rectos. Estolones carnosos o pigmentados; tubérculos variando enormemente de forma color y tamaño. Hojas ampliamente esparcidas, imparipinada, folíolos generalmente verdes o verdes oscuros y opacos por encima, verdes pálidos por debajo; provistos con pelos pluricelulares mezclados con pelos unicelulares más cortos (Ochoa, 1990 citado por Marino, 2010).

### **3.5.2. Descripción de la variedad Luk'i (*Solanum juzepczukii*)**

Según Proinpa (1989), descripción morfológica color de flor lila con morado, forma de flor pentagonal, grado de floración escaso, color de tallo verde con poca pigmentación disección de hoja divalente disectada, forma de tubérculo elíptico con ojos superficiales, color de piel morado con áreas de color blanco, color de pulpa blanco, calidad culinaria buena para chuño.

### **3.5.3. Descripción de la variedad de estudio Phiñu (*Solanum tuberosum ssp.*)**

Según Proinpa (1989), descripción morfológica color de flor lila con rojo morado, forma de flor rotacea, grado de floración moderado, color de tallo verde, disección de hoja divalente disectada, forma de tubérculo oblongo, alargado fusiforme con ojos medianamente profundos, color de piel rojo morado, color de pulpa crema, calidad culinaria buena para hervir.

## **3.6. Producción y Rendimiento del cultivo de papa en Bolivia**

En Bolivia la papa se cultiva en el altiplano, valles y llanos orientales. En el altiplano se producen variedades andígenas (nativas), como la Waycha, Sani Imilla, Imilla negra, Imilla blanca que son las de mayor importancia, los rendimientos son relativamente bajos entre 4 - 14 t/ha, por estar estas zonas expuestas a heladas, granizadas y sequias importantes. En los valles producen las mismas variedades andígenas y también tuberosas comúnmente llamadas holandesas, en estas zonas existe mayor disponibilidad de agua por lo que existe mayor número de épocas de siembra. En los llanos orientales tienen una siembra corta de marzo-abril, donde toda la producción es de variedades holandesas destinadas únicamente a consumo propio (UPS-SEPA 2007 citado por Choque 2015).

De acuerdo con SEPA, (2007) mencionado por Choque (2015), se cultiva en siete departamentos del país menos Beni y Pando juega un rol socio cultural muy importante entre los productores, por lo que aún se conserva y cultiva una diversidad



de variedades de papas nativas principalmente para el autoconsumo y trueque en las ferias comunales.

La tasa de crecimiento de la producción de papa en el mercado boliviano muestra un comportamiento estacionario con incremento productivo de 1 % anual, lo cual está por debajo de la tasa de crecimiento de la población. Esta situación hace que el consumo per cápita sea cada vez menor (Campero, 2008 citado por Choque 2015).

En Bolivia el cultivo de papa refleja diferentes valores en rendimientos, la zona del altiplano es la que tiene mayor producción y superficie cultivada pero contradictoriamente presenta los rendimientos más bajos del país, en el trópico existen valores con alguna significación y solo la zona de los valles tiene rendimientos elevados a comparación del resto del país (Zeballos *et al*, 2009).

### **3.6.1. Rendimiento en el Departamento de La Paz**

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

### **3.6.2. Rendimiento en el altiplano norte**

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

### **3.7. Requerimientos climáticos del cultivo de papa**

La distribución de las diferentes especies de papa es muy amplia en los Andes 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 4300 m en este sentido es posiblemente el cultivo de mayor versatilidad climática y ecológica (Tapia y Fries, 2007).

### **3.7.1. Fotoperiodo**

Según Sierra (2005), los días largos favorecen el desarrollo de la parte aérea (follaje), pero para la formación de tubérculos son adecuados los días cortos. La duración del día influye considerablemente sobre el crecimiento de la papa, bajo condiciones de días cortos las plantas presentan una tuberización precoz, los estolones son cortos y el follaje escaso en cambio con días largos el proceso de tuberización se retarda y reduce.

Cortez y Hurtado (2002), citado por Pinaya (2013), mencionan que la papa se comporta mejor con periodos de 8 a 12 horas luz. La luminosidad que reciben las plantas durante el día incide en la función de los cloroplastos favoreciendo al proceso de la fotosíntesis y consecuentemente la formación de los tubérculos.

La papa es un cultivo de día corto. El acortamiento de los días o fotoperiodo corto es un factor que estimula o acelera la entrada en tuberización de la mayoría de las variedades, pero no determina este proceso (Aldabe y Dogliotti 2006).

### **3.7.2. Temperatura**

La papa es considerada una planta termoperiódica, indicando que necesita una variación entre la temperatura máxima y mínima de al menos 10 °C. Si la diferencia es menor, el crecimiento y tuberización se ven afectados. Si esta situación se presenta con frecuencia a lo largo del ciclo vegetativo, el rendimiento y la calidad se ponen en riesgo, pues las temperaturas altas son ideales para el crecimiento de tallos y hojas, pero no para el desarrollo de los tubérculos (CENTA 2002).

Con temperaturas máximas mayores a 25 °C, la respiración de la planta aumenta, aumentando a su vez el consumo de asimilados disponibles para el crecimiento de la planta (Aldabe y Dogliotti 2006).

Días cortos y temperaturas bajas estimulan la iniciación de tubérculos, bajo condiciones de días muy largos y altas temperaturas la formación de tubérculos puede verse disminuida (Contreras 2009).

### **3.7.3. El cultivo de papa y el cambio climático**

De acuerdo con Quiroga (2008), los impactos del cambio climático para el cultivo de papa se pueden mencionar como las escasas precipitaciones y bajas temperaturas. Los bajos rendimientos de producción en los países de México, Perú, Chile. La disminución de la calidad y cantidad de papa va afectando tanto a las familias campesinas como las urbanas en Centro América. En un periodo inicial, las variedades introducidas que logran un nivel de adaptación en las condiciones climáticas del altiplano, medianamente responden a las buenas costumbres y realidad socio cultural del altiplano, son difundidas por cuanto proyecto de desarrollo rural actúa en ella. Para las variedades de papas dulces, como la imilla blanca, Waycha, sani imilla, colombianas, holandesas, etc., existen varias razones que afectan los rendimientos, pero la más básica se atribuye a las condiciones de clima menos drásticas y razones de mercado.

#### **3.7.3.1 Problemas de cambio climático para el cultivo de papa**

Los problemas de cambio climático son los siguientes:

##### **Helada**

Se presenta cuando las plantitas están empezando a crecer o en otro momento del desarrollo del cultivo, cuando hay buena humedad las plantas se recuperan.

##### **Granizada**

Se pueden presentar en el periodo de floración y también cerca de la madurez de la papa.

## **Sequía**

Sucedee en cualquier época de desarrollo de las plantas; a veces después de la siembra, en la brotación, entonces las plantas no crecen y aparecen algunas plagas.

## **Nevada**

Se presenta cerca de la cosecha, más o menos después de carnaval son perjudiciales para todos los cultivos; en el caso de la papa ayudan a que aparezcan más verrugas, pero si se presentan entre julio y agosto son Buenos.

### **3.8. Contenido de materia orgánica**

La materia orgánica del suelo tienen muchas funciones importantes, ayuda a unir entre sí las partículas finas para formar unidades estructurales (agregados del suelo), mejora la aireación del suelo y la percolación y el movimiento descendente del agua, los ácidos orgánicos, que son productos de la descomposición de la materia orgánica del suelo, solubilizan el fósforo y otros nutrientes del suelo, y los hacen asimilables para los cultivos (FAO, 1986 mencionado por UNA, 2005).

### **3.9. Necesidades hídricas de la papa**

La papa es relativamente sensible al déficit de agua, por lo que no debe agotarse más de un 30 a 35% del total del agua disponible, especialmente durante la formación y crecimiento de los tubérculos (Vázquez, citado por Pacheco y Pérez, 2010).

Las variedades modernas de papa son sensibles a la falta de agua en el suelo y necesitan una irrigación frecuente y superficial. Un cultivo de papas de 120 a 150 días consume de 500 a 700 mm de agua, y la producción se reduce si se agota más del 50% del total de agua disponible en el suelo durante el período de crecimiento, es decir, durante la estolonización y el inicio de la formación de los tubérculos y el crecimiento de los mismos, tiende a reducir la producción, mientras que el cultivo sufre menos la falta de agua al inicio del crecimiento vegetativo (FAO, 2008).

### **3.10. Fases fenológicas de la papa**

Según Cisneros (1988), se puede distinguir cuatro fases en el desarrollo de la planta de papa.

**Fase de Emergencia:** es el periodo entre la siembra y la aparición de los brotes en el surco.

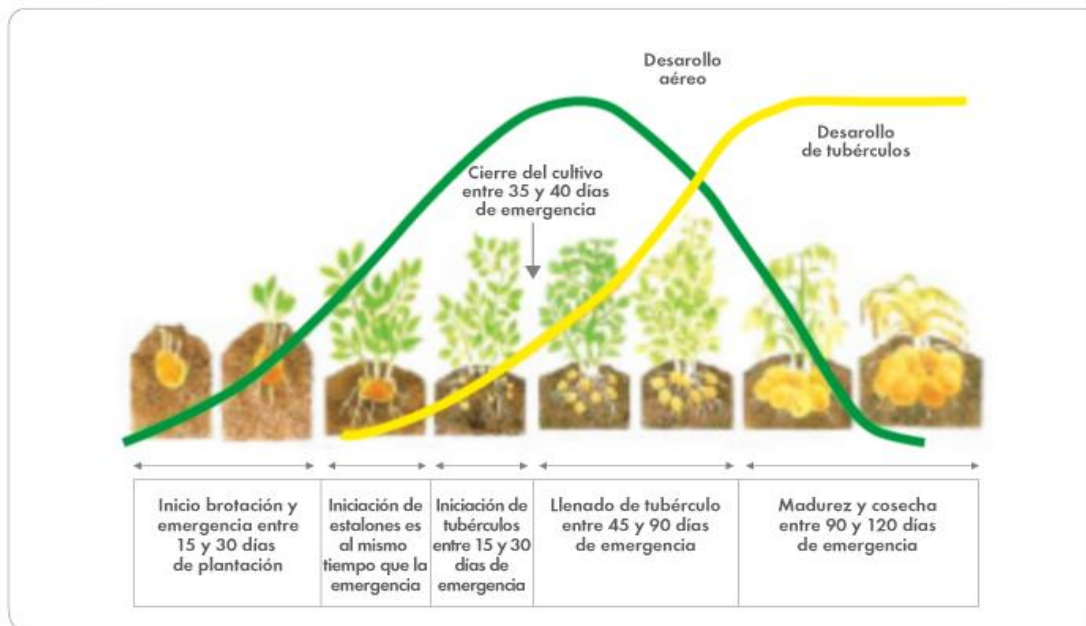
**Fase vegetativa:** periodo entre la emergencia y la iniciación de la tuberización.

**Fase de tuberización:** periodo entre la iniciación de la tuberización y el máximo

**Desarrollo del follaje.** Se considera que para muchas variedades este periodo coincide con el inicio de la floración.

**Fase de madurez:**

Sucede a 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. Los tubérculos se encuentran maduros y ocurre la senescencia y abscisión de la parte aérea indicando así inicio de la cosecha. 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.



**Figura 1.** Fases fenológicas de papa

### 3.11. Manejo agronómico del cultivo de papa

De acuerdo con Gómez (2013), las labores culturales durante el ciclo del cultivo de papa es como sigue a continuación:

#### Preparación del terreno

La preparación de terreno es el proceso de acondicionar el terreno para recibir La semilla, pudiendo ser realizada de forma mecánica o manual, dependiendo Del acceso y economía agricultor.

#### Siembra

La siembra se realiza en surcos enterrando los tubérculos semilla, con una profundidad de 10-15 cm. Para la siembra de papa, se puede incorporar fertilizante abono orgánico durante la pre-siembra, el procedimiento es abrir el surco incluyendo fertilizante a una profundidad de 20 a 25 cm y seguidamente.

## Profundidad de siembra

La profundidad de siembra es importante, la profundidad es dos veces el diámetro de la semilla que varía entre 10 a 15 cm; la profundidad de siembra no tiene incidencia directa con el rendimiento según las investigaciones realizadas.

**Cuadro 2.** Condiciones que determinan la profundidad de siembra.

Variable	Características	Profundidad de siembra	
		Menor	Mayor
Tamaño de semilla	Semilla pequeña	*	
	Semilla grande		*
Edad de semilla	Semilla optima	*	
	Semilla vieja		*
Textura de suelo	Suelo arenoso	*	
	Suelo arcilloso		*
Clima	Clima caluroso	*	
	Clima frio		*
Pluviosidad	Localidad lluviosa	*	
	Localidad sin lluvia		*

Fuente: Copoulos *et al.*, 2008

## Aporque

El aporque es una labor agronómica que consiste en llevar tierra de la base del surco hasta el cuello de la planta. Los aporques se pueden efectuar de uno a dos; 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. No es bueno retrasar el aporque, puede causar daño mecánico favorecer a las enfermedades o plagas (Copoulos *et al.*, 2008).

## **Control de malezas**

Las malezas son enemigos de los cultivos, dentro de la parcela compiten por la luz, agua y nutrientes, asimismo son hospederas de plagas y enfermedades afectando al cultivo, razón por la cual es necesario desmalezar el campo de cultivo. El deshierbe se efectúa después de unos 25 a 40 días de la emergencia, para evitar que las malezas compitan por nutrientes y humedad con las plantas, igualmente para dar una mayor aireación a las raíces.

## **Defoliación**

Mediante la defoliación o corte de follaje se puede controlar el tamaño del tubérculo y Además se puede realizar un muestreo al azar para cosechar el momento adecuado; la defoliación se debe realizar con mucho cuidado para evitar la transmisión de enfermedades fungosas (*Phytophthora infestans*) y bacterias (*Erwinia sp.*). En los países de España, EE.UU., Canadá e Irlanda utilizan azadones rotativos en forma comercial, para qué madure la papa se debe esperar de 10 a 15 días antes de cosechar. La defoliación se procede cuando la planta ha alcanzado su madurez fisiológica, que consiste en cortar el follaje de la planta de forma manual, mecánica o utilizando herbicidas químicos.

Copoulos *et al.*, (2008), indican que la defoliación tiene como fin, obtener piel sin desprendimiento del tubérculo con buena consistencia para la cosecha, este proceso es conocido como “tuberización”, la planta debe persistir defoliada de 15 a 21 días aproximadamente, dependiendo de la variedad y clima (en seco fija más rápido que en húmedo); en este proceso los tubérculos aumentan de peso en un 10% por la translocación final de los nutrientes y se fija la cáscara.

## **Cosecha**

La cosecha se efectúa cuando el cultivo alcanza su madurez completa, caracterizado por presentar más de 80% de planta tumbadas y en proceso de secado.



La cosecha consiste en remover el suelo, extraer y recolectar los tubérculos, cuando están maduros y ya no se pelan a la fricción de los dedos o roce entre los tubérculos por efecto del manipuleo.

La cosecha debe ser oportuna y adecuada, cuando el suelo presente una humedad apropiada, para evitar daños mecánicos y cortos en los tubérculos, daños por efecto de heladas dentro del suelo. (Canahua, Q.R., Condori, M.T. y Flores P.M. 2011).

### **3.12. Abonos orgánicos.**

Rodríguez (2007) citado por Marino (2010), señala aunque la adición de nutrientes en la incorporación de estiércoles es baja, esta práctica es benéfica para terrenos con bajo contenido de materia orgánica, y cuando se quiere mejorar las condiciones físicas del suelo. Las cantidades requeridas son de 10 tn/ha aproximadamente dependiendo del tipo y riqueza del estiércol.

### **3.13. Fertilizantes químicos.**

El nitrógeno es un nutriente crítico porque tiene gran efecto sobre el rendimiento y la calidad del tubérculo. El mejor resultado de la aplicación de nitrógeno se logra cuando un 50-60 % se utiliza durante la siembra y el resto al inicio de la tuberización (Hollow Herat Sierra 2005 citado por Patty 2009).

Según Copoulos *et al.*, (2008), la fertilización debe poseer un balance nutricional N: P, K: Ca: Mg que es de mucha importancia, evitando el antagonismo y controlar su desarrollo y su resistencia a factores ambientales o enfermedades. Las aplicaciones foliares de nutrientes ayudan, pero la verdadera nutrición de una planta se realiza a través del sistema radicular.

### 3.14. Enfermedades y plagas del cultivo de papa

#### 3.14.1. Enfermedades

Se puede observar las enfermedades más importantes de la zona andina:

**Cuadro 3.** Enfermedades de la papa que más se difunden en el altiplano.

Nombre común	Nombre científico	Lugar de ataque	Causas, síntomas y daños
<b>Tizón temprano</b>	<i>Alternaria solani</i>	Hongo Ataca los tallos, hojas y no al tubérculo.	-Similar al tizon tardio pero no es tan serio el hongo -Oportunista, se presenta en la mitad del ciclo. Síntoma: -Lesiones redondas quemado en forma de círculo. Frecuentemente rodeados de un halo amarillo.
<b>Tizón tardío</b>	<i>phytophora infestans</i>	Hongo Ataca los tallos, hojas y no al tubérculo.	Enfermedad más seria en el mundo, puede matar a la planta de 7 a 10 días. Síntomas: comienzan las lesiones circulares e irregulares, luego se agrandan; hay un bello blanco cunado, hay humedad, es café, negro indistinto, por las hojas y tallos amarillos alrededor.
<b>Rhizoctonia</b>	<i>Rhizoctonia solani</i>	Hongo	Síntomas: Las lesiones son de color café por el tallo abajo la tierra: estrangulamiento; de tallos este es un hongo del suelo, su daño lo hace en el cuello hacia abajo (tubérculos) provoca pérdidas.

**Fuente.** Gómez (2013)

### 3.14.2. Plagas

Las plagas más importantes del cultivo de papa, según el cuadro 4 son:

**Cuadro 4.** Plagas del cultivo de papa

Nombre común	Nombre científico	Lugar de ataque	Causas, síntomas y daños
<b>Gorgojo</b>	<i>Premnotrypes ssp.</i>	Formula galerías en tubérculo y en las hojas se consumen la lámina en forma de media luna.	Puede causar muchos daños y baja calidad de tubérculos.
<b>Afidos</b>	<i>Myzus Persicae</i> <i>Macrosiphum euphorbiae.</i>	A las hojas transmite virus se manifiesta por enrollamiento de las hojas y mosaicos.	Sus síntomas son que no tiene la transmisión de virus es el problema más frecuente de afidios.
<b>Polilla de la papa o marcadores de hoja</b>	<i>Phthorimaea</i> <i>Aperculella</i>	Forma de galerías y en los tubérculos, perforan la lámina de hoja y hacen envolturas pegados.	Puede ser más dañoso. El frio no favorece a las polillas. Se puede controlar con insecticidas sistémico.

**Fuente.** Gómez (2013)

### **3.15. Importancia del agua en la agricultura**

Según la FAO (2008), en el siglo XXI la explotación del agua dulce duplicó con creces la tasa del crecimiento demográfico. Actualmente se extraen alrededor de 3839 km<sup>3</sup> de agua para consumo humano, de lo cual el sector agrícola se lleva la parte del león: un 70 %. Pero la sed de la agricultura no es sostenible a largo plazo. Ante la intensa competencia de los usuarios urbanos e industriales, y la realidad cada vez más evidente de que el consumo humano de agua está poniendo en peligro la eficacia de los ecosistemas de la tierra, el sector debe incrementar considerablemente el volumen de producción por unidad de agua utilizada.

#### **3.15.1. Efecto de la deficiencia de agua sobre las plantas**

De acuerdo a Kramer (1983), la tención hídrica o déficit hídrico en las plantas, indica situaciones en que las células y tejidos no estén plenamente turgentes. La tensión hídrica puede variar desde un pequeño descenso del potencial hídrico, pasando por el marchitamiento transitorio a medio día, hasta el marchitamiento permanente y la muerte por desecación.

Por su parte Moreno (2009), menciona que siendo el agua uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés. El estrés hídrico disminuye en las células foliares de la planta su presión de turgencia, manifestándose el marchitamiento de estas (Badillo *et al.*, 2009).

#### **3.15.2. Necesidades hídricas de la papa**

Para obtener altos rendimientos las necesidades de agua del cultivo, para una variedad de 120-150 días, son de 500-700 mm dependiendo del clima, la relación entre la evapotranspiración de referencia se da mediante el coeficiente de cultivo (Kc), que es el siguiente: Durante la etapa inicial 0,4 - 0,5 durante los 20 – 30 días, en la etapa de desarrollo de 0,7 - 0,8 en los 30 - 40 días, en la etapa de la mitad de desarrollo de 1,0 –1,2 de los 30 - 60 días, en la etapa final de desarrollo de 0,85 – 0,95 de 20 - 35 días y en la maduración 0,7 – 0,75 Doorenbos y Kassam (1979).

De acuerdo con Sánchez (2003), el cultivo de papa requiere de 500 a 700 mm de agua durante su periodo vegetativo. La evapotranspiración (uso consuntivo), oscila desde los 400 a 800 mm. El uso diario varía desde los 0,2 mm/día durante etapas iniciales hasta 5 mm/día en etapas de máximo follaje, luego baja hasta 3 mm/día en los días antes de la maduración completa.

La papa es relativamente sensible al déficit de agua, por lo que no debe agotarse más de un 30 a 35% del total de agua disponible, especialmente durante la formación y crecimiento de los tubérculos (Vásquez, citado por Pacheco y Pérez 2010).

Las variedades modernas de papa son sensibles a la falta de agua en el suelo y necesitan una irrigación frecuente y superficial. Un cultivo de papas de 120 a 150 días consume de 500 a 700 mm de agua, y la producción se reduce si se agota más del 50 % del total del agua disponible en el suelo durante el período de crecimiento. En general, la falta de agua durante la parte media y final del período de crecimiento, es decir, durante la estolonización y el inicio de la formación de los tubérculos y el 25 crecimiento de los mismos, tiende a reducir la producción, mientras que el cultivo sufre menos la falta de agua al inicio del crecimiento vegetativo (FAO, 2008).

### **3.16. Riego**

Chipana (2003), indica que el riego es una tentativa del hombre de alternar el ciclo hidrológico a nivel local promover el incremento de la producción agrícola. En otras palabras el riego es el suministro oportuno de la cantidad de agua a los cultivos de tal manera que estos no sufran disminución en sus rendimientos y sin causar daños al medio ambiente. La papa es relativamente sensible al déficit de agua, por lo que ésta no debe agotarse más de un 30 a 35% del total disponible, especialmente durante la formación y crecimiento de los tubérculos. Se recomienda el uso de tensiómetros para determinar el momento que debe regarse; calibrando estos según el tipo de suelo y la localidad.

Conforme con Vergara (2001), citado por Patty (2009), el riego es la aplicación artificial de agua al suelo con el fin de suplir las necesidades de humedad necesaria para el desarrollo normal de las plantas. Ósea regar es proveer agua al suelo cuando esta es insuficiente, es decir el riego complementa parcial o totalmente la lluvia u otras formas de aporte natural de este recurso. Señala además que el riego es el regulador más seguro en la producción, permite al agricultor evitar la alternancia de años de superabundancia en los que los precios caen y de otros de escasez que disminuyen sus ingresos. Así mismo la posibilidad de regar facilita la rotación de cultivos, escalonamiento de la producción, incremento en los rendimientos y dependiendo del tipo de riego disminuye los costos de producción. En el cuadro 5, se muestra diferentes métodos de riego con sus ventajas y desventajas.

**Cuadro 5.** Métodos de riego ventajas y desventajas.

Tipo de riego	Ventajas	Desventajas
<b>Gravedad por surcos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo costo de operación</li> <li>- Fácil de emplear</li> <li>- Ayuda a deslizar el suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gasto excesivo de agua.</li> <li>- Solo se usa en terrenos de poca pendiente.</li> <li>- Puede tener erosión si no ay buena nivelación.</li> </ul>
<b>Aspersión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce la erosión</li> <li>- Puede usarse en pendientes moderadas</li> <li>- No ay que nivelar el suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere mucha mano de obra.</li> <li>- Incrementa enfermedades foliares.</li> </ul>
<b>Goteo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poco uso de agua menos erosión.</li> <li>- Reduce enfermedades foliares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión alta.</li> <li>- Puede promover la salinidad del suelo si no es empleado adecuadamente.</li> </ul>

**Fuente:** CENTA (2002)

### 3.16.1. Características físicas del suelo respecto al riego

#### 3.16.1.1. Profundidad efectiva

La profundidad y la distribución del sistema radicular del cultivo es de gran importancia para determinar la lámina de riego a aplicar de manera que al humedecer el suelo hasta profundidades inferiores trae problemas de déficit hídrico en la planta y al hacerlo hasta profundidades mayores constituyen un gasto innecesario de agua, (Alvares, 1985).

De acuerdo con la UNA (2005), la profundidad del suelo se refiere al espesor del material edáfico favorable para la penetración de las raíces de las plantas. La profundidad efectiva se refiere al espesor del suelo de la superficie hasta donde se desarrolla el sistema radicular de los cultivos.

Las profundidades de las raíces pueden estar limitadas por barreras físicas y químicas así como por niveles freáticos elevados. La profundidad del suelo puede medirse directamente en el perfil o a través de un barreno. Cuadro 6. Se muestra la Clasificación de la profundidad del suelo para uso agrícola Profundidad (cm).

**Cuadro 6.** Clasificación de la profundidad del suelo para uso agrícola

profundidad (cm)	Clasificación
> 90	Optimo
60 a 90	Moderado
40 a 60	Moderado
30 a 40	Regular
< 30	Marginal

Fuente: UNA (2005)

### **3.16.2. Requerimientos edáficos para el cultivo de papa**

#### **Textura y profundidad**

Según Pardave (2004) citado por Guerra (2012), la papa tiene un sistema radicular muy ramificado y con innumerables raicillas que fácilmente ocupan 45 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, en un Ph de 5,5 a 8,0.

Pérez (1987) mencionado por Patty (2009), señala que el cultivo de papa debe contar con un suelo de textura liviana (franco arenoso) y profundo (40 a 50 cm), sin embargo se puede cultivar en cualquier tipo de suelo, excepto en suelo arcillosos, húmedos y sin drenaje.

Por otro lado según el CENTA (2002), los mejores suelos son los francos, franco arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, de textura liviana, con buen drenaje y con una profundidad efectiva mayor de los 50 cm, y una densidad aparente (Dap), de 1,2 g/cm<sup>3</sup> que permitan el libre crecimiento de los estolones y tubérculos.

#### **Estructura**

La estructura del suelo se define como: el tamaño, la forma y el arreglo de las partículas primarias que forman las partículas compuestas, y el tamaño, forma y arreglo de las partículas compuesta. Lo que se considera como buena estructura depende de la velocidad con que el aire y el agua se mueva a través del suelo. La capacidad estructural del suelo se define como su capacidad para formar terrones espontáneamente y que estos terrones se dividen en pedazos pequeños granos, o agregados, sin la intervención del hombre (UNA, 2005).

Los suelos con buena estructura presentan una mayor capacidad de retención del agua disponible, sobre todo en los valores de tensión más próxima a la capacidad de campo. En los valores más próximos al punto de marchitamiento, los suelos apelmazados pueden contener mayor cantidad de agua disponible, debido a que la



compactación provoca el cambio de tamaño de muchos poros, que pasan de macroporos a microporos (Fuentes 1998, citado por Patty 2009).

### **3.16.3. Efecto del déficit hídrico en distintas fases de desarrollo de la papa**

El déficit de humedad en el periodo de estolonización e iniciación de la formación de tubérculos como el periodo de crecimiento de estos son los que afectan en mayor proporción los rendimientos del cultivo. Los déficit de humedad durante los periodos de desarrollo e inicio de la tuberización hasta el periodo de cosecha, son los que provocan mayores disminuciones de los rendimientos. Varas (1995), citado por Patty (2009).

De acuerdo con Ekanayake (1994), el perjuicio que causa la sequía en la papa se ha descrito como consecuencia de: 1) reducción del follaje productivo (escasa emergencia, escasa expansión foliar); 2) reducción de la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar; y 3) reducción del período vegetativo o senectud precoz (bajo Índice de área foliar). Además el estrés por sequía en cualquier etapa de crecimiento puede reducir el rendimiento de tubérculos de papa. La emergencia, la iniciación y el desarrollo de tubérculos son las etapas de mayor vulnerabilidad. La disminución en el rendimiento se debe al escaso número de tubérculos bien logrados y la mala distribución de su tamaño.

Méndez e Inostroza (2009) señalan que el cultivo de papa es sensible al déficit hídrico (períodos críticos) entre inicio de la estolonización y formación de tubérculos, a desarrollo de la cosecha; mientras que los períodos menos sensibles corresponden a aquéllos de maduración y a su fase inicial.

La sequía también afecta la calidad de los tubérculos, pues produce grietas durante el crecimiento, tubérculos alargados o ahusados, debido a la maduración alternada con recrecimiento de la cobertura foliar y a la expansión celular cíclica de los tubérculos. Asimismo, una sequía transitoria causa mayor número de tubérculos deformes que una sequía continuada (Ekanayake, 1994).

### **3.16.4. Programación de riego**

La programación del riego tiene como objetivo establecer las láminas y fechas apropiadas a lo largo del ciclo fenológico de un cultivo. El riego debe considerar diversos factores, requerimientos hídricos y las características de crecimiento propias de la especie y variedad, la demanda evaporante de la atmósfera, y las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo que determinan su capacidad de retención de agua ya que, junto con la profundidad radicular, determinan la cantidad de agua posible de ser utilizada en el proceso evapotranspiración del cultivo (Serrano, 2000).

#### **3.16.4.1. Métodos de cálculo del requerimiento hídrico**

##### **3.16.4.1.1. Método en base a parámetros climáticos**

Conforme con Nortes (2008) citado por Padilla (2014), estos métodos estiman la necesidad hídrica de los cultivos en base al cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y el coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>). El método de FAO Penman - Monteith se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, dicho método requiere de datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento (Allen *et. al.*, 2006).

##### **3.16.4.1.2. Método en base a la humedad del suelo**

Según Tarjuelo (2005) citado por Patty (2009), estos métodos se basan únicamente en el conocimiento del estado hídrico del suelo, es decir, los que se apoyan en el conocimiento del potencial hídrico (tensiómetros, resistencias), y en el contenido de agua mediante sonda de neutrones, muestreos gravimétricos o mediciones de la constante dieléctrica (TDR, FDR).

Cadahia (2005), citado por Padilla (2014), nos dice que la humedad del suelo puede determinarse empleando métodos directos e indirectos, los métodos indirectos son el uso de tensiómetros, bloques de yeso y sonda de neutrones, TDR (Reflectometría en el dominio del tiempo) y FDR (Reflectometría en el dominio de

las frecuencias), entre los métodos directos tenemos los gravimétricos. Para calibrar los métodos indirectos Villalobos (2009) citado por Padilla (2014), nos dice que se utiliza el método gravimétrico para cotejar y luego calibrar. Este método consiste en sacar muestras del suelo para pesarlas y secarlas en una mufla a 105 - 110 °C por 24 horas y posteriormente volverlas a pesar.

#### **3.16.4.1.3. Método basado en el estado hídrico del cultivo**

Estos métodos están basados en el conocimiento del estado hídrico del cultivo, ya que este refleja el balance entre factores de oferta (profundidad y densidad radicular, contenido de agua en el suelo) y demanda de agua por las condiciones atmosféricas. Entre estos métodos, se incluyen los que miden el potencial hídrico de la hoja (con la bomba de presión), los que miden la temperatura de la cubierta vegetal (con sensores de radiación infrarroja), el empleo de sistemas visuales de estrés hídrico (color de las hojas, enrollamiento foliar, cambio de orientación de las hojas, etc.). Los que miden la resistencia estomática, etc. Tarjuelo (2005) citado por Patty (2009).

#### **3.16.4.1.4. Método de balance de agua en el suelo**

Este método según Villalobos *et. al.* (2009) citado por Padilla (2014), se calcula mediante las variaciones de entradas y salidas de agua en el suelo. Por otra parte los componentes del balance hídrico son muy variados; Tarjuelo (1999) y Cadahia (2005) citado por Padilla (2014), aluden que las necesidades de riego se obtengan mediante la expresión que se muestra a continuación.

$$Nn = ETc - Pe - Ac - Pp \pm \Delta H \quad (1)$$

Dónde:

Nn: Es la necesidad neta de riego (mm).

ETc: Es el agua evapotranspirada por el cultivo (mm).

Pe: Es la precipitación efectiva (mm).

Ac: Agua que penetra en el volumen radicular por ascenso capilar (mm).

Pp: Son las pérdidas por percolación profunda de la zona radicular (mm).

H: Es la variación del contenido de humedad del suelo (mm).

Según Serrano (2010), en cuestiones de diseño y planificación, se desprecia los aportes por ascenso capilar (Ac), como del almacenamiento del agua eventual en el suelo por variación de humedad ( $\Delta H$ ), de la misma manera de la percolación profunda (Pp), en razón que se desea conocer la necesidad de riego para periodos largos;

Al respecto Chipana (2003), menciona, cuando la napa freática se encuentra a profundidades mayores de 1,5 m de la superficie del suelo, por consiguiente los aportes por ascensión capilar son despreciables y asumiendo que las pérdidas por percolación son iguales a cero, quedando la ecuación dos como:

$$Nn = ETc - Pe \quad (2)$$

Dónde:

Nn : = Necesidad neta de riego (mm).

ETc : = Evapotranspiración del cultivo (mm).

Pe : = Precipitación efectiva (mm).

### **Precipitación efectiva (Pe)**

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

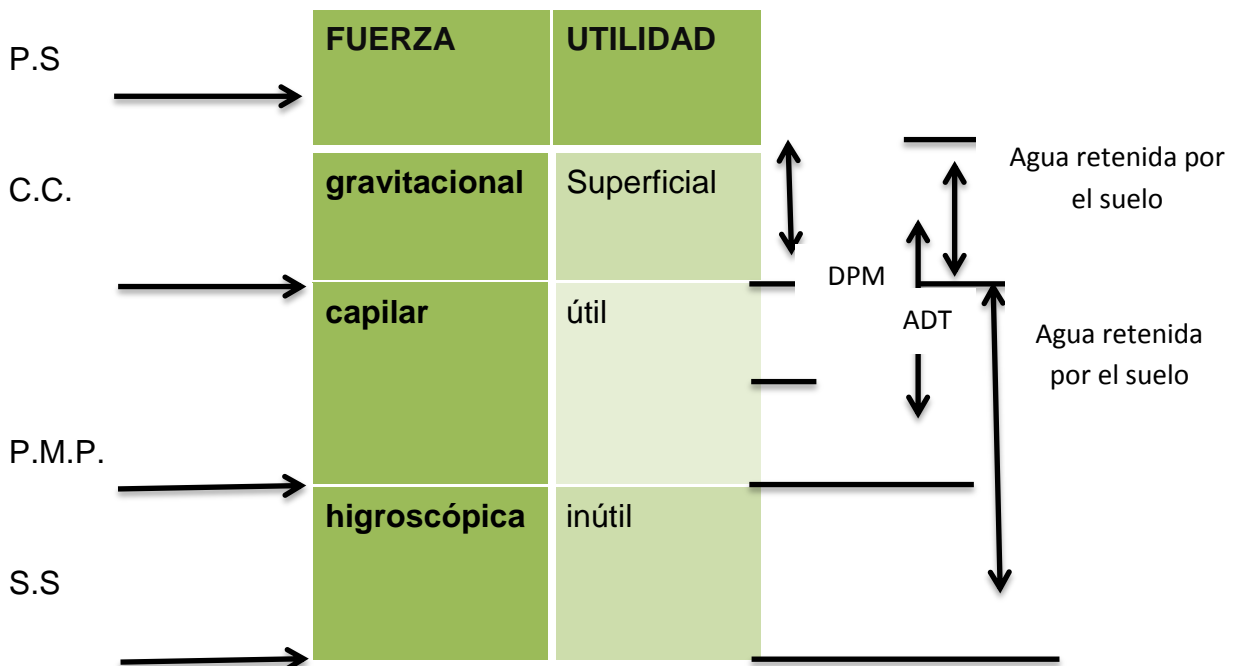
La magnitud de la precipitación efectiva dependerá de las características de:

- Terreno, Condiciones físicas de humedad, pendiente, cobertura y otros.
- Precipitación, Altura de agua caída, intensidad duración y frecuencia.

## Contenido de agua en el suelo

Serrano (2010), menciona que es importante conocer la capacidad que tiene un suelo para almacenar agua, a efectos de reponer la cantidad para la evapotranspiración. Señala además que la cantidad de agua retenida en el suelo varía constantemente, pudiendo ser para las plantas: agua superflua (por demás); agua útil (aprovechable); agua inútil (no aprovechable), ubicándose entre las cuatro constantes hídricas como se muestra en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Las cuatro fases de agua o constantes hídricas en el suelo (Serrano, 2010).



### Punto de saturación (P.S.)

Según Serrano (2010), es una relación del peso de agua que existe entre el peso de agua que lo contiene. Se dice que el suelo está saturado cuando todos los poros del suelo están ocupados por el agua después de un riego abundante o una precipitación copiosa. El punto de saturación nos determina el agua que está en exceso.

### **Capacidad de campo (C.C.)**

Conforme con Tarjuelo (1999), el concepto de capacidad de campo, es cuando el suelo está completamente humedecido o saturado, al cual, se deja drenar libremente durante dos o tres días, con la finalidad de eliminar por acción de la gravedad, el sobrante de agua, se dice entonces que el suelo se encuentra a la capacidad de campo.

Serrano (2010), menciona que para ser más precisos se suele recurrir a porcentajes de agua a un potencial determinado, tales como - 0,33 y - 0,10 bares para suelos pesados y livianos respectivamente.

### **Agua Disponible Total (ADT)**

La capacidad de almacenamiento de agua aprovechable o agua disponible total (ADT) de los suelos, estará determinado por la diferencia entre el contenido de humedad a CC y PMP (obtenido en laboratorio), que para ser expresado en lámina de agua dependerá de la profundidad efectiva del sistema radicular del cultivo (Pr) (Serrano, 2010).

De acuerdo con Fuentes (1998), el agua disponible, es el agua que puede ser absorbida por las plantas; esta misma corresponde a la porción comprendida entre la CC y el PMP.

Allen *et al.* (2006), mencionan que la disponibilidad de agua en el suelo se refiere a la capacidad de un suelo de retener el agua disponible para las plantas. Después de una lluvia importante o riego, el suelo comenzara a drenar agua hasta alcanzar la capacidad de campo. La capacidad de campo representa la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene en contra de las fuerzas gravitatorias, ósea la cantidad de agua remanente en el suelo cuando el drenaje descendente ha disminuido significativamente.

### **Agua Fácilmente Aprovechable (AFA)**

Serrano (2010), menciona que el (AFA) o déficit permitido de manejo (DPM) es el grado de depleción de humedad del suelo que se debe permitir antes de cada riego, depende principalmente del tipo de cultivo y se lo puede calcular mediante la siguiente relación:

$$\text{AFA} = \text{ADT} * f \quad (3)$$

Dónde:

AFA = agua fácilmente aprovechable (extraíble) de la zona radicular del suelo (mm)

F = Grado de absorción de agua de los cultivos, generalmente asume valores entre 0,4 (para cultivos sensibles al déficit hídrico) y 0,7 (para cultivos resistentes).

Tarjuelo (2005) menciona que la dificultad de la planta para aprovechar el agua disponible aumenta a medida que su contenido se aproxima al punto de marchitamiento permanente por lo que desde el punto de vista del manejo del agua con el riego, únicamente se dejará agotar una parte del intervalo de humedad disponible o reserva útil (generalmente entre el 30 % y 70 %) antes de volver a regar.

### **Punto de marchitez permanente (P.M.P.)**

Según Pizarro (1987) citado por Padilla (2014), el punto de marchitez permanente se caracteriza por que el contenido de humedad del suelo no está disponible para las plantas; a medida que va quedando menos agua, esta es retenida por el suelo con más fuerza, hasta que llega un momento en que la succión de las plantas no pueden vencer la fuerza de retención del agua, y las plantas se marchitan irreversiblemente, ahí es cuando se dice que ha alcanzado el punto de marchitez permanente. Este estado corresponde a un potencia mátrico comprendido entre -10 y -20 bares, con un valor medio aproximado de -15 bares.

## **Suelo seco (S.S.)**

A partir del punto de marchitamiento el suelo pierde agua por evaporación cuando se deja secar al aire; pero todavía queda cierta cantidad de agua que solamente se puede sacar sometiéndolo al suelo a un secado de varias horas en una estufa.

### **3.16.5. Riego deficitario controlado**

El riego deficitario controlado (RDC), corresponde a la reducción de los aportes hídricos; en aquellos períodos fenológicos en que un déficit no afecta la cantidad ni calidad de la cosecha, cubriendo plenamente las demandas hídricas durante los períodos sensibles del ciclo del cultivo (Mitchell *et al.*,1984).

Según la FAO (2002), el riego deficitario controlado, consiste en reducir la cantidad de agua aplicada por debajo del máximo utilizado por el cultivo, permitiendo un estrés moderado con mínimo impacto en los rendimientos

Sánchez-Blanco y Torrecillas (1995), indican que para la elaboración de estrategias de Riego deficitario controlado, debe atenderse a la consideración de aquellos factores que puedan condicionar de forma importante su viabilidad. Entre otros, adquiere una especial importancia el conocimiento de los períodos críticos del cultivo, el nivel de coincidencia entre el crecimiento vegetativo y el del fruto, las características del cultivo, el sistema de riego, el clima, el material vegetal y la resistencia a la sequía.

El riego deficitario es una herramienta para el manejo de los cultivos que se fundamenta en la estrategia de reducir el agua aplicada con el mínimo impacto sobre la producción. El cálculo del requerimiento hídrico del cultivo se lo determinara estableciendo la eficiencia del uso de agua en los cultivos de papa.

#### **3.16.5.1. Estrategias de riego deficitario**

Se han diseñado varias estrategias de riego deficitario la elección de una u otra dependerá de varios factores como el tipo de cultivo disponibilidad de agua y sistema de riego de el que se disponga.



### **3.16.5.2. Fundamentos del riego deficitario controlado**

Para la elaboración de estrategias de riego deficitario controlado, debe atenderse a la consideración de aquellos factores que puedan condicionar de forma importante su viabilidad. Entre otros, adquiere una especial importancia el conocimiento de los períodos críticos del cultivo, el nivel de coincidencia entre el crecimiento vegetativo y el del fruto, las características del cultivo, el sistema de riego, el clima, el material vegetal y la resistencia a la sequía. (Sánchez-Blanco y Torrecillas 1995).

### **3.16.6. Riego en el altiplano**

Según el PRONAR (2005), en el Altiplano de La Paz el riego cubre cerca de 2892,0 ha; el cual representaría el 2,4% de toda el área cultivada, todos ellos aplicados por métodos superficiales, con aguas provenientes de los deshielos y las lluvias, que inicialmente son almacenadas en represas o directamente conducidos por medio de canales a los cultivos.

El PRONAR (2002), señala también que en esta zona se han desarrollado pequeños áreas de riego (3 a 75 ha), utilizando como fuentes de agua a los ríos, vertientes y pozos, con captación enteramente rústicas y en muy pocos casos por bombeo, donde el riego cumple un rol enteramente complementario.

### **3.17. Productividad del agua**

La productividad del agua en los cultivos (WP), se define como “la cosecha producida por unidad de agua consumida en la producción (t m<sup>-3</sup> o kg m<sup>-3</sup>)”. El numerador puede ser expresado en términos de rendimiento del cultivo, mientras que en el denominador puede usarse la transpiración, la evapotranspiración, el agua aplicada o agua total entre otros (Stewart et al., citado por González *et al.* 2010).

La FAO (2003), define a la productividad del agua como la cantidad o el valor del producto sobre el volumen o valor del agua consumida o desviada. Se refiere a la cantidad de producto obtenido por unidad de agua “cultivo por gota”. El valor del producto podría ser expresado en diferentes términos: biomasa, grano, dinero.

Los principios básicos para mejorar la productividad del agua en el campo, a nivel de finca o de cuenca que se aplican a todos los cultivos, tanto bajo condiciones de secano como de riego, son: i) incrementar los rendimientos comercializables de los cultivos por unidad de agua traspirada por este; ii) reducir todas las pérdidas (drenaje, filtrado y percolación), incluyendo las pérdidas por evaporación distintas de la transpiración estomática de las plantas; y iii) incrementar el uso efectivo del agua de lluvia, del agua almacenada y del agua marginal de menor calidad.

### **3.17.1. Evapotranspiración**

Allen *et al.* (2006), mencionan que la evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. Ambos ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo (casi el 100 %), pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal (más del 90 %).

#### **3.17.1.1. Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)**

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), tal como es definida por Doorenbos y Pruitt (1977), es la proporción de evapotranspiración desde una extensa superficie de referencia, cubierta únicamente con pasto "Rye Grass" de 8 – 15 cm de altura, creciendo activamente, sombreando completamente el suelo, y sin limitaciones de agua. La ET<sub>o</sub> expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ET<sub>o</sub> con parámetros climáticos (Allen *et al.*, 2006).

### **3.17.1.2. Evapotranspiración del cultivo (ETc)**

Allen *et al.* (2006), señalan que las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada al cultivo como riego o precipitación, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración.

La evapotranspiración del cultivo puede ser calculada a partir de datos climáticos e integrando directamente los factores de resistencia del cultivo, el albedo y la resistencia del aire en el enfoque de Penman-Monteith. Debido a que todavía existe una considerable falta de información para los diferentes cultivos, el método Penman-Monteith se utiliza solo para la estimación de la tasa de evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>). La relación ET<sub>c</sub>/ET<sub>o</sub> puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), y se utiliza para relacionar ET<sub>c</sub> a ET<sub>o</sub> de manera que  $ET_c = K_c \times ET_o$ .

### **3.17.1.3. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET<sub>caj</sub>)**

Allen *et al.* (2006), mencionan que la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET<sub>caj</sub>), se refiere a la evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar. Bajo condiciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de ET<sub>c</sub> debido a condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de ET<sub>c</sub>.

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar se calcula utilizando un coeficiente de estrés hídrico K<sub>s</sub> o ajustando K<sub>c</sub> a todos los otros tipos de condiciones de estrés y limitaciones ambientales en la evapotranspiración del cultivo.

#### **3.17.1.4. Factores que afectan la evapotranspiración**

El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración.

**VARIABLES CLIMÁTICAS:** la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento.

**FACTORES DE CULTIVO:** tipo de cultivo, variedad, la etapa de desarrollo, diferencias en resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares del cultivo.

**MANEJO Y CONDICIONES AMBIENTALES:** salinidad, baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impermeables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo, el contenido de agua del suelo, las prácticas del cultivo, método de riego, barrera rompevientos (Allen *et al.* 2006).

#### **3.18. Infiltración**

Según Cisneros (2003), la infiltración se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo. La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo bajo condiciones de campo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él.

Para el CITRA (2010), la infiltración es el proceso a través del cual el riego o agua de lluvia, ingresa al suelo a través de la superficie, hacia sus capas inferiores, en forma vertical y horizontal, y esta varía según la textura del suelo, siendo más rápida en suelos arenosos y más lenta en los arcillosos.

### **3.19. Frecuencia de riego**

Gurovich (2001), menciona que la frecuencia de riego debe basarse, en consecuencia, en estas consideraciones de balance entre velocidad de pérdida de agua por las hojas y velocidad de aporte de agua por el suelo hacia las raíces. Durante el verano, frecuencia de riego será máxima, tratando de reponerse en el suelo el agua consumida por los cultivos (regarse) casi continuamente, como es el caso del riego por goteo, ojala cada día o cada dos o tres días. La frecuencia de riego optima es una función del tipo de suelo (su capacidad de almacenamiento de agua y su conductividad hidráulica en condiciones no saturadas); la demanda de la atmósfera; el estado desarrollo del cultivo (especialmente la distribución de las raíces en la profundidad del perfil y el índice de área foliar); consideraciones económicas en relación con equipos de riego disponibles, mano de obra y disponibilidades de agua para el riego en la propiedad agrícola.

### **3.20. Riego y rendimiento**

Gurovich (2001), menciona que la relación riego-rendimiento se torna critica cuando la disponibilidad de agua en el suelo no es suficiente para equilibrar la demanda evaporativa de la atmósfera y la planta pone en actividad el mecanismo fisiológico de cierre estomático, como una adaptación que le permite evitar la deshidratación de sus tejidos. El cierre parcial o total de las estomas de la hoja reduce el ritmo del intercambio gaseoso, de tal manera que la concentración de CO<sub>2</sub> en la cavidad subestomática se convierte en el factor limitante de la fotosíntesis. Asociada a esta situación, al interior de la hoja se eleva la temperatura, ya que no se está vaporizando agua (calor de vaporización) con la máxima velocidad este aumento de temperatura implica un incremento en la velocidad de respiración a nivel celular, que ocurre a expensas de las reservas de fotosintatos producidos previamente por la planta. De esta manera el efecto de una disponibilidad sub óptima de agua reduce la velocidad de fotosíntesis y acelera la respiración impidiendo a la planta expresa su potencial productivo.

Desde el mismo momento en que la demanda evaporativa de la atmósfera es de carácter continuo mientras que los aportes al sistema (las lluvias y el riego), son discretos en el tiempo, toda planta frecuentemente es sometida a condiciones de “estrés hídrico” al que responde utilizando sus reservas de agua y restringiendo su actividad fisiológica, lo que se ve inevitablemente reflejado en diversos aspectos físicos.

### **3.20.1. Productividad del agua**

De acuerdo con Stewart *et al.*, citado por González *et al.* (2010), la productividad del agua en los cultivos (WP) se define como “la cosecha producida por unidad de agua consumida en la producción ( $t/m^3$  o  $kg/m^3$ )”. El numerador puede ser expresado en términos de rendimiento del cultivo, mientras que en el denominador puede usarse la transpiración, la evapotranspiración, el agua aplicada o agua total entre otros. La mitigación de los impactos de la sequía y el incremento de la productividad del agua puede jugar un rol sustancial en regiones semiáridas.

La FAO (2003), define a la productividad del agua como la cantidad o el valor del producto sobre el volumen o valor del agua consumida o desviada. Se refiere a la cantidad de producto obtenido por unidad de agua “cultivo por gota”. El valor del producto podría ser expresado en diferentes términos: biomasa, grano, dinero. Los principios básicos para mejorar la productividad del agua en el campo, a nivel de finca o de cuenca que se aplican a todos los cultivos, tanto bajo condiciones de secano como de riego, son: i) incrementar los rendimientos comercializables de los cultivos por unidad de agua transpirada por este; ii) reducir todas las pérdidas (drenaje, filtrado y percolación) incluyendo las pérdidas por evaporación distintas de la transpiración estomática de las plantas; y iii) incrementar el uso efectivo del agua de lluvia, del agua almacenada y del agua marginal de menor calidad.

### 3.20.2. Eficiencia de uso del agua

De acuerdo con Micucci y Álvarez (2003), a la eficiencia de uso del agua (EUA), en condiciones de secano, es el rendimiento o producción de biomasa por unidad de agua consumida, como se muestra en la ecuación 5. El agua consumida puede expresarse como transpiración, evapotranspiración o precipitación.

$$\text{EUA} = R Pp^{-1} \text{ (kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

Dónde:

R = es el rendimiento del cultivo (kg/ha), en biomasa total o grano, según el objetivo de producción.

Pp = Son las precipitaciones ocurridas durante el barbecho y el ciclo del cultivo (mm).

Por su parte Medrano *et al.*, (2007), Indican que la eficiencia en el uso del agua de las plantas dependerá principalmente de dos tipos de factores: en primer lugar, de aquellas características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración de agua; y en segundo lugar, de las características del ambiente en el que crece y se desarrolla la planta. ológicos, morfológicos y, finalmente, productivos.

### 3.21. Evaluación de la humedad en el suelo (FDR portátil Diviner)

#### 3.21.1. Método en base a la humedad del suelo

Según Tarjuelo (2005), estos métodos se basan únicamente en el conocimiento del estado hídrico del suelo, es decir, los que se apoyan en el conocimiento del potencial hídrico (tensiómetros, resistencias), y en el contenido de agua mediante sonda de neutrones, muestreos gravimétricos o mediciones de la constante dieléctrica (TDR).

Cadahia (2005), citado por Padilla (2014), nos dice que la humedad del suelo puede determinarse empleando métodos directos e indirectos, los métodos indirectos son el

uso de tensiómetros, bloques de yeso y sonda de neutrones, TDR (Reflectometría en el dominio del tiempo) y FDR (Reflectometría en el dominio de las frecuencias), entre los métodos directos tenemos los gravimétricos.

### **3.21.2. Diviner FDR**

Permitirá medir en varios sitios sin restricción de distancia entre ellos, instalándose tubos de acceso de PVC en cada sitio a evaluar, el sensor de la sonda reconocerá profundidades cada 10 cm, visualizando los datos en una pantalla y almacenándolos para luego transferirse a un procesador de datos. El volumen de suelo medido no es dependiente del tipo de suelo o del contenido de agua y se aproxima a un cilindro 10 cm de alto con un diámetro de cerca de 25 cm, asumiendo que no hay espacios con aire. El monitoreo de la humedad del suelo será efectuado con una frecuencia de dos veces por semana.

### **3.22. Cámara de Scholander**

“Scholander” es el aparato más usado para medir estrés hídrico en vides para vino. Aunque su uso se ha restringido mayormente a la estimación de la frecuencia de riego en viñedos que utilizan el estrés hídrico para mejorar la calidad de las bayas, recientes avances científicos han permitido su incorporación a la Programación del riego en otros cultivos frutales. La bomba de presión es un aparato que puede ser utilizando exitosamente para evaluar el estrés hídrico

### **Potencial hídrico**

El potencial hídrico ( $\Psi$ ) integra todas las variables que determinan el estado hídrico de las cepas (riego, pluviometría, textura del suelo, demanda evaporativa, etc.), Es un parámetro fisiológico que indica el balance entre los flujos de absorción y de transpiración de agua por medio de la energía necesaria para extraer el agua contenida en los tejidos foliares (Albuquerque, 1993), el potencial hídrico de la planta ( $\Psi_w$ ) consta de cuatro componentes (Barceló *et al.*, 1987; Turner, 1981).



$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g \quad (5)$$

Dónde:

$\Psi_s$ : Potencial osmótico (determinado por la concentración de solutos en las vacuolas celulares).

$\Psi_p$ : Potencial de presión (la presión que ejercen las vacuolas sobre las paredes celulares cuando el agua entra en la célula).

$\Psi_m$ : Potencial matricial (fuerzas de capilaridad, absorción e hidratación celular)

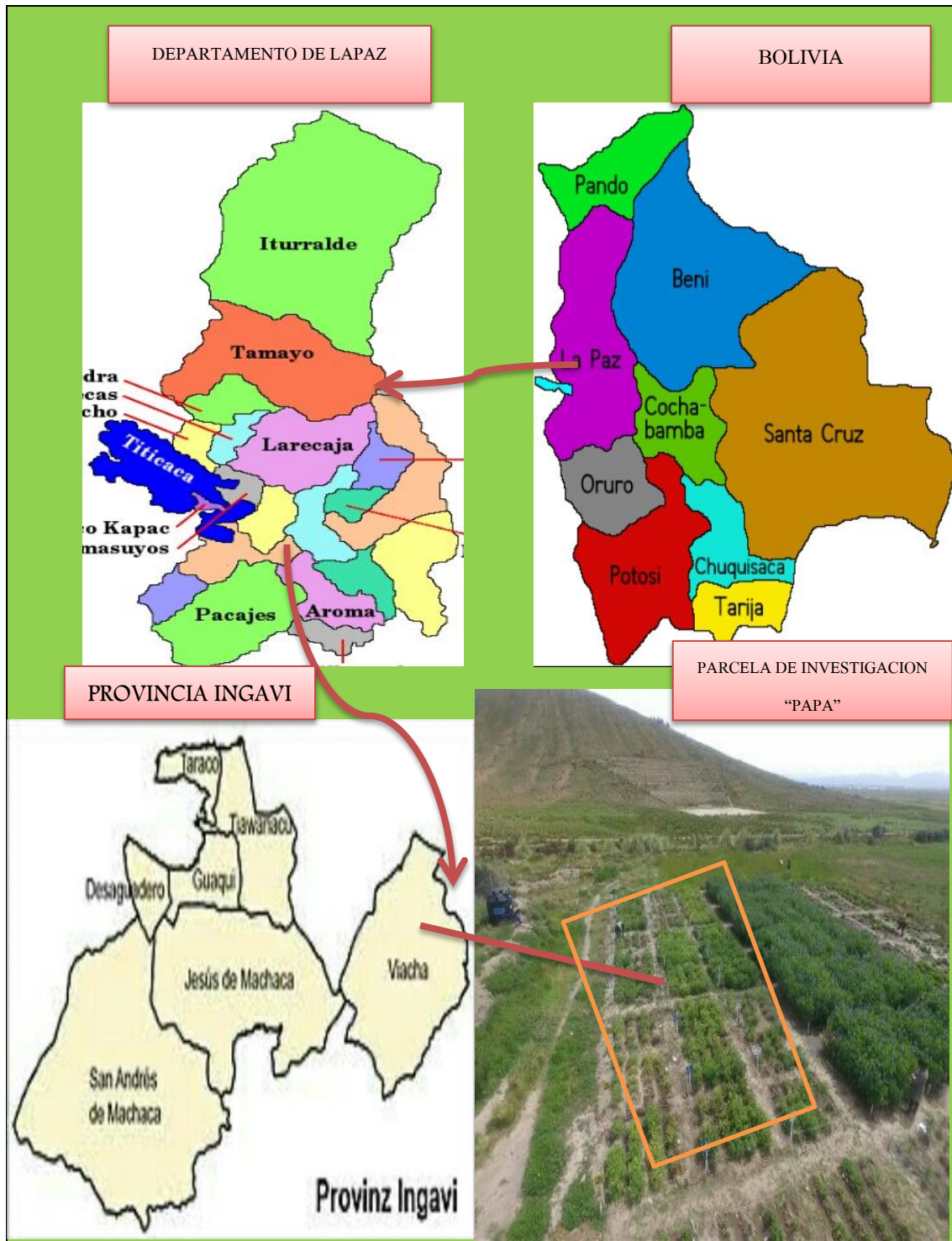
$\Psi_g$ : Potencial gravitacional (fuerzas gravitacionales).

Desarrollado por Scholander *et al.*, (1964), Valores elevados de presión en esta cámara, se corresponden con valores altos de tensión del agua en la hoja (muy negativos), y por tanto, con elevados niveles de estrés hídrico.

## **4. LOCALIZACIÓN**

### **4.1. Ubicación geográfica**

El presente trabajo se realizó en predios de la Estación Experimental Choquenaira, facultad de agronomía de Universidad Mayor de San Andrés, ubicada dentro del municipio de Viacha, Provincia Ingavi del departamento de La Paz como se observa en la figura 4, a 38 km de la ciudad de La Paz; altitud de 3870 msnm, geográficamente se halla a 16° 41' 39,25" Latitud Sur y 68° 17' 14,31" Longitud Oeste (Mamani y Céspedes, 2012)



**Figura 2.** Ubicación de la parcela de investigación.

## **4.2. Descripción de la zona del estudio**

### **4.2.1. Clima**

Las variables climáticas de la región son muy cambiantes. Según los análisis de datos climáticos entre los periodos 2005 - 2011 la temperatura promedio anual es de 7,7°C y las extremas fluctúan entre -15 a 22 °C. Las precipitaciones son estacionales e irregulares en intensidad y periodicidad, en los últimos años las precipitaciones se concentran en los meses de diciembre a marzo alcanzando el 72% de toda la precipitación. El presente quinquenio alcanzó un promedio de 349,10 mm. La presencia de heladas en la región es muy frecuente y poca precipitación origina épocas de sequías prolongadas teniendo como consecuencia una sola producción al año (Mamani y Céspedes, 2012).

### **4.2.2. Fisiografía y vegetación**

En aspectos fisiográficos de la región, está dada aproximadamente en un 21 % por serranías y 79 % de planicies que constituye la cuenca lechera y forrajera, aptos para la producción de cultivos agrícolas como también la crianza de animales mayores y menores.

La vegetación corresponde a bosque húmedo montano sub tropical, donde la vegetación primaria dominante de las plantas xerofíticas y mesofíticas; las especies más representativas que componen la comunidad vegetal son de tipo herbáceos anuales, plurianuales y algunos de tipo arbustivas.

Las plantas que predominan en las praderas nativas son las gramíneas y otras especies de importancia forrajera que desarrollan de manera irregular en altura y en poco volumen de fito masa; en estos campos existen el sobre pastoreo del ganado bovino ovinos y camélidos (Mamani y Céspedes, 2012).

Según Paye (2006), en la región de Letanías existen especies tales como: Cebadilla, Ichu, Cola de ratón, Thola, Muni muni (*Bidens pilosa*), Lirio lirio (*Sisyrinchium andícola*), Reloj reloj (*Erodium cicutarum*), Diente de león (*Taraxacum*

*officinalis*), k'anapaqu (*Sonchus oleraceus*), Paiqu (*Chenopodium ambrosoides*), Quinoa silvestre (*Chenopodium sp.*) y otras especies menores.

El mismo autor señala que existen otras especies forrajeras introducidas que son cultivadas como: Avena, Alfalfa (*Medicago sativa*), Triticale (*Triticale sp.*), Otras en menor escala como el Atriplex (*Atriplex halimus*).

#### **4.2.3. Suelo**

Fernández (2006), sostiene que la Estación Experimental Choquenaira presenta suelos de origen aluvio - coluviales de formación reciente, destacan dos planicies una planicie no inundable la cual es apta para la producción de cultivos como la papa, cebada, quinua, forrajeras y hortalizas. En cambio la planicie más baja o anegadizas expone limitaciones en la preparación del suelo para las labores agrícolas debido a su mayor humedad por la proximidad a la napa freática de 45 a 50 cm, y a las frecuentes inundaciones por tiempos cortos; lo que limita su uso solamente para pastos nativos y algunos arbustos de porte bajo.

Callisaya (1994), describe el suelo con una profundidad efectiva de 25 a 32 cm, color gris en seco y pardo grisáceo oscuro en húmedo. Textura arcillo limoso y franco arcilloso limoso. Estructura bloque subangular, consistencia adherente en mojado, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. El subsuelo presenta una elevada cantidad de arcilla.

#### **4.2.4. Recursos hídricos**

Se constituye en la cuenca media del río Jachajahuira - Pallina, en la cuenca alta se observan procesos de reducción de la cobertura vegetal que sumada a la concentración de lluvias estacionales, provocan el incremento de la erosión hídrica y transporte de sedimentos. Los ríos que se encuentran a los alrededores son: Río Khala, Río Achicala, Río Kusilluni, Río njiskha, Río Pallina, Río Wilaque, Río Challa y Río Sallani (Revista en Imágenes EECh. 2011).

La fuente principal del agua de la Estación Experimental Choquenaira es de origen subterránea y de pequeños manantiales, las precipitaciones pluviales son las encargadas de la recarga de los acuíferos (Mamani y Céspedes, 2012).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Materiales**

Los materiales empleados para esta investigación se describirán a continuación:

#### **5.1.1. Material vegetal**

Semillas de tubérculos de papas, de las variedades Waycha, Luk'i y Phiñu.

#### **5.1.2. Material de campo**

El material de campo utilizado para la investigación fue: carretilla, picola, pala, rastrillo, Flexómetro, regla, mochila Aspersora, baldes, regaderas, vernier, balanza analítica, cronometro, cilindros de infiltración, barreno, combo, estacas de 0,60 y 100 cm, letreros, clavos, yutes, bolsas plásticas, cámara fotográfica digital, lupa, estilete, mufla, estación meteorológica automática.

#### **5.1.3 Material y equipos de investigación.**

Los equipos que son utilizados para esta investigación fueron lo siguiente: FDR Portátil Diviner, Cámara Scholander o Bomba de presión

#### **5.1.4. Material de gabinete**

Equipo de computación, calculadora, material de escritorio, hojas bon, cuaderno de campo, guantes, lápiz, bolígrafo, marcador, tablero y planillas.

### **5.2. Métodos**

A continuación se presenta la secuencia metodológica seguida en campo, en el ensayo realizado.

### 5.2.1. Establecimiento de la parcela experimental

### 5.2.2. Muestreo de suelo



**Figura 3.** Muestreo de suelo

El muestreo de suelo se realizó según la metodología propuesta por Chilón (1996). Con el método Zig Zag lo cual se realizó el cuarteo y luego se procedió embolsar como 1 kg de muestra posteriormente se llevó al laboratorio para su análisis este muestreo de suelo se efectuó antes de la preparar el terreno. Como resultado del análisis físico de la capa arable.

#### **Densidad aparente**

Se utilizó un cilindro de volumen conocido, donde se extrajo muestras no alteradas de la capa arable del suelo en un número de tres, estas se llevaron a una estufa a 105 °C durante 48 horas. La densidad aparente se calculó con la siguiente ecuación:

$$D_{ap} = \frac{MSS}{V_c} \quad (6)$$

$D_{ap}$  = Densidad aparente ( $\text{g cm}^3$ )

MSS = Masa de suelo seco (g)

$V_c$  = Volumen del cilindro ( $\text{cm}^3$ )

### Relación de absorción de sodio

$$RAS = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{++}] + [Mg^{++}]}{2}}} \quad (7)$$

$Na^+$  = Concentración de sodio ( $\text{meq L}^{-1}$ )

$Ca^{++}$  = Concentración de calcio ( $\text{meq L}^{-1}$ )

$Mg^{++}$  = Concentración de magnesio ( $\text{meq L}^{-1}$ )

#### 5.2.2. Prueba de infiltración

Primeramente se procedió a elegir un lugar representativo para cada par de cilindros, en el que no exista ninguna alteración física del suelo. Luego se instaló el cilindro pequeño en el lugar determinado uniformemente de manera que no exista una inclinación del cilindro. Se golpeó los cilindros haciendo penetrar 10 a 15 cm. Luego se realizó la misma operación con los cilindros grandes que cumplía la función de tampón, para que no exista movimiento lateral horizontal del agua dentro del suelo.

Finalmente se hizo el aporte de agua a ambos cilindros pero a una altura de lámina mayor al cilindro interno, se midió el nivel de agua y se realizaron mediciones periódicas; estos datos se registraron en la planilla y mediante ellos se obtuvo la evolución de la velocidad de infiltración básica de dicho suelo hasta obtener el valor de infiltración a saturación.



**Figura 4.** Prueba de infiltración

#### **5.2.2.1. Calicata**

Se realizó una calicata en la parcela experimental, tomando muestras de cada horizonte, las dimensiones fueron de 1,0 m x 1,50 m y una profundidad de 1,20 m. La metodología adoptada fue de la FAO (1977b), mediante la guía para la descripción de perfiles de suelo, el orden en el que se evaluó fue primeramente, (I) Información acerca del sitio de la muestra, como segundo (II) información general acerca del suelo.

#### **5.2.3. Muestreo del agua para riego**

El muestreo del agua se realizó del reservorio de agua se encuentra ubicado a cinco metros de la parcela experimental, con el fin de determinar la calidad del agua, mediante el análisis de las características físicas y químicas del mismo, el muestreo se realizó antes del periodo de lluvias con el fin de evitar acumulación de sedimentos, el procedimiento consistió en:

- Limpieza del reservorio de agua
- Lavado del recipiente para la muestra, botella plástica de dos litros
- Envío de la muestra al laboratorio del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), para su respectivo análisis.
-





**Figura 5.** Muestreo del agua

#### **5.2.4. Preparación del terreno**

La preparación del terreno se realizó durante el mes de noviembre con la incorporación de estiércol de bovino a razón de  $0,5 \text{ kg m}^{-2}$ , a cada tratamiento que total del experimento mide  $200 \text{ m}^2$



**Figura 6.** Preparación de terreno

#### **5.2.5. Siembra**

Una vez delimitada la parcela en bloques y en las unidades experimentales, la siembra se realizó el 20 de noviembre en un suelo de textura franco arcilloso, se realizó la siembra de forma manual utilizando la semilla tubérculo de papa, la cual fue

colocada a una profundidad de 25 cm con un densidad de siembra, entre surcos de 60 cm y 50 cm entre plantas.



**Figura 7.** Siembra de variedades Waycha, Luk'i y Phiñu

#### **5.2.6. Instalación de tubos PVC (Diviner)**

Se instaló nueve tubos de PVC con una profundidad de 50 cm para medir la humedad de suelo y se instaló en los nueve tratamientos de las tres variedades de papa.



**Figura 8.** Instalación de tubos PVC (Diviner)

### **5.2.7. Labores culturales**

Las labores culturales se llevaron de forma constante y de acuerdo a las necesidades del cultivo, aquí se presentan las principales:

#### **5.2.7.1. Primer aporque: irnaka**

La irnaka o primer aporque se realizó cuando la maleza alcanzó unos 10 cm. de altura, a los 7 semanas de la siembra. Con esta actividad se logró eliminar en un 80% de las malezas; para así evitar la que la planta no sufra ningún daño en su desarrollo.



**Figura 9.** Primer aporque

#### **5.2.7.2. Segundo aporque: Kahua**

La Kahua o segundo aporque se realizó después de inicio de la floración, esta labor se practicó con la finalidad de profundizar los surcos, aflojar el suelo es decir oxigenar el suelo para que los tubérculos se desarrollen de mejor manera para que tenga un buen rendimiento.



**Figura 10.** Segundo aporque

### **5.2.7.3. Deshierbe**

Esta actividad se desarrolló en dos oportunidades, y cuando era necesario, esta labor se realiza con fin de evitar competencia de nutrientes ya que las plantas necesitan horas de luz, agua y otros fines.



**Figura 11.** Deshierbe de la parcela

### **5.2.7.4. Control de plagas y hongos**

se realizó dos veces se aplicó uno cuando la planta llega a una altura de 20 cm y la segunda antes de la floración donde se aplicó Karate y Estherbin, con una dosis de 20 ml en 20 L, para que no ataque tanto como las plagas y enfermedades.



**Figura 12.** Aplicación de Plaguicida

#### **5.2.7.5. Cosecha y Poscosecha**

Una vez finalizado el ciclo vegetativo. La cosecha se efectuó de forma manual en finales de abril del presente año, cuando los tubérculos alcanzaron la madurez fisiológica, cuando no hay desprendimiento de la piel del tubérculo, La post cosecha comprendió de número de tubérculos por planta, peso de tubérculos por m<sup>2</sup>.



**Figura 13.** Cosecha de papa

### **5.2.8. Riego**

La aplicación de las tres láminas de riego, y considerando frecuencias de 5 días. Durante el desarrollo del cultivo esto es con la finalidad de evaluar el RDC, aplicándose el riego de acuerdo a los tratamientos que se han propuesto. Para el cálculo de los volúmenes de agua requerida para el cultivo, se utilizó el, 50%, 75% y 100% de reposición respecto de la lámina de riego calculada.

Para efectuar la programación del riego se consideró el método en base a parámetros climáticos, por un lado la demanda de agua del cultivo representada por la ETo y por otro los aportes de oferta de agua de la precipitación pluvial total (PP), expresada como precipitación efectiva (Pe) al 75 % de acuerdo con la recomendación logística del Proyecto de cultivos andinos el procedimiento fue el siguiente:

### **5.2.9. Registro datos climáticos**

Los datos climáticos fueron registrados automáticamente cada 30 minutos, por medio de la Consola que almacena de datos climáticos, (consola inalámbrica) está a 15 m aproximadamente de la parcela experimental.

La descarga de los datos climáticos registrados por la consola se realizó cada cinco días a horas 14:30 de la tarde ya que la frecuencia de riego es de cinco días.

### **5.2.10. Cálculo de las láminas de riego**

Este cálculo se efectuó en base a parámetros climáticos, que fueron la ETo, PP , Pe y el Kc de cultivo, dando como resultado el requerimiento de lámina de riego (R), según la ecuación 7 se calculó con los tres láminas de riego con 100%, 75% y 50% fueron las tres láminas de riego correspondientes a tres variedades de papa.

$$R = ETo - Pe \quad (8)$$

Dónde:

R : Requerimiento de lámina de riego (mm).

ETo : Evapotranspiración del referencia (mm).

Pe : Precipitación efectiva al 75 % (mm).

### **5.2.12. Diseño de investigación**

Se utilizó el diseño de bloques al azar con parcelas divididas, con tres repeticiones, y veinte siete unidades experimentales, los factores de estudio en esta investigación fueron las tres variedades de papa con láminas de riego, cuyo nivel fue la siguiente:

#### **5.2.12.1. Modelo lineal aditivo**

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Observación cualquiera.

$\mu$  = Media de la población.

$B_j$  = Efecto del la j-ésimo bloque.

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo variedad.

$\epsilon_{ij}$  = Error de parcela grande.

$\gamma_k$  = Efecto del k-ésimo niveles de riego.

$(\alpha\gamma)_{ik}$  = Interacción entre la i-ésimo variedad y el k-ésimo riego.

$\epsilon_{ijk}$  = Error experimental.

Fuente: Arteaga, 2001

#### **5.2.12.2. Factores de estudio**

En el presente trabajo de investigación se aplicaron los siguientes factores de estudio:

### Factor A: Variedades

- **a1:** Variedad 1: Luk'i
- **a2:** Variedad 2: Phiñu
- **a3:** Variedad 3: Waycha

### Factor B: Riego deficitario

- **b1:** Deficitario 100 % de reposición de lámina de agua
- **b2:** Deficitario 75 % de reposición de lámina de agua.
- **b3:** Deficitario 50% de reposición de lámina de agua.

#### 5.2.12.3. Tratamientos

Los factores antes mencionados fueron distribuidos al azar en nueve tratamientos como muestra a continuación:

**Cuadro 8.** Distribución de los tratamientos

Tratamiento	Factor A Variedad	Factor B Riego	Combinación
1	Luk'i	Deficitario 100%	$a_1 * b_1$
2	Luk'i	Deficitario 75%	$a_1 * b_2$
3	Luk'i	Deficitario 50%	$a_1 * b_3$
4	Phiñu	Deficitario 100%	$a_2 * b_1$
5	Phiñu	Deficitario 75%	$a_2 * b_2$
6	Phiñu	Deficitario 50%:	$a_2 * b_3$
7	Waycha	Deficitario 100%	$a_3 * b_1$
8	Waycha	Deficitario 75%	$a_3 * b_2$
9	Waycha	Deficitario 50%	$a_3 * b_3$

#### 5.2.12.4. Características del campo experimental

A continuación se hace un detalle de las dimensiones de terreno que se utilizó de presente investigación se detalla de la siguiente manera:

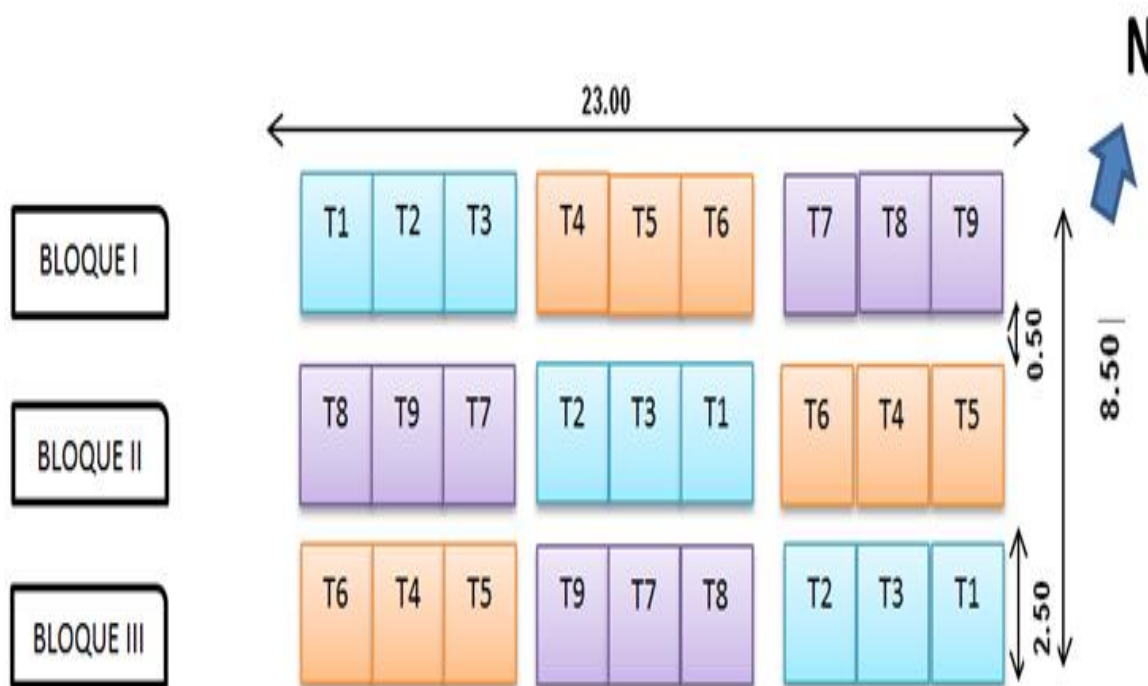


**Cuadro 9.** Características de la parcela experimental

Detalle del área experimental	
Área unidad experimental	5 m <sup>2</sup>
Parcela principal + pasillos:	17,5 m <sup>2</sup>
Área por bloques + pasillos	57 m <sup>2</sup>
Área de experimento (3 bloques + pasillos)	59, m <sup>2</sup>
Distancia entre surcos	0,60
Distancia entre plantas	0,50
Total de unidades experimentales	27

### 5.2.12.5. Croquis experimental

A continuación se detalla la distribución de los tratamientos dentro de los bloques experimentales.



**Figura 14.** Croquis de la distribución de tratamientos

### 5.2.13. Variables de respuesta

#### 5.2.13.1. Porcentaje de emergencia

Para determinar estos parámetros del porcentaje de emergencia se tomó en cuenta, los días transcurridos a partir de la siembra hasta el momento en el que el 75 % de las plantas alcanzaron a emerger de cada variedad.

$$\% \text{ Emergencia} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de plantas Emergidas}}{\text{N}^\circ \text{ de tuberculos plantados}} \times 100 \quad (9)$$

#### 5.2.13.2. Variables agronómicas

##### 5.2.13.2.1. Altura de la planta

Esta variable se evaluó a hasta que alcanzo a 5 cm de altura, las mediciones se realizaron desde la base del tallo hasta el comienzo de la hoja para su efecto se midieron 5 plantas al azar lo cual se ha seleccionado una rama de un tallo por planta y se expresó en centímetros.



**Figura 15.** Toma de datos de altura

#### 5.2.13.2.2. Número de tallos por planta

El número de tallos por planta, se determinó mediante conteo directo en las plantas seleccionadas por una rama, de la misma que se llevó hasta después de la fase de floración, debido a que en esta etapa la cantidad de tallos es invariable.



**Figura 16.** Toma de datos de número de hoja

#### 5.2.13.2.3. Número de tubérculos por planta

Una vez realizada la cosecha, se contabilizó el número de tubérculos por planta. En cada unidad experimental se cosechó de un metro cuadrado de los diferentes tratamientos.



**Figura 17.** Número de tubérculos por planta

#### 5.2.13.2.4. Peso de tubérculos por planta

Una vez contabilizado el número de tubérculos por planta se realizó el pesaje de cada planta y al final se lo junto en uno, posteriormente se tomó el peso de cada m<sup>2</sup> por unidad experimental.



**Figura 18.** Peso de tubérculos por planta

#### 5.2.14. Rendimiento

El rendimiento agronómico se evaluó en los surcos centrales de cada unidad experimental, tomando un metro cuadrado.



**Figura 19.** Evaluación de Rendimiento

## 5.2.15. Evaluación de Sensores

### 5.2.15.1 Evaluación de Diviner (FDR)

(FDR Portatil Diviner) es un sistema de medición de humedad en el suelo, que nos permite dar a conocer la humedad a distintas profundidades.

Para tal efecto se utilizó tubos de acceso PVC, que fueron instaladas en nueve tratamientos en nueve unidades experimentales, las cuales nos han permitido obtener datos de humedad del suelo a diferentes profundidades de 10, 20, 30, 40, y 50 cm, y de esta manera determinar el comportamiento de la humedad por la aplicación de riego deficitario, lo cual esta medición se utilizó dos veces a la semana.



**Figura 20.** Toma de datos de humedad

### 5.2.15.2 Cámara de Scholander o Cámara de presión

La toma de datos de cámara de Scholander se realizó dos veces a la semana, uno en la mañana y en la tarde esta medición es con fin saber el estrés hídrico de la hoja a diferentes horas del día.

- Se seleccionó una planta representativa y se selecciona una hoja que tiene que estar expuesta a la luz no tiene que tener daños ni tiene que estar en estado de estrés.

- Se embolso la hoja con una bolsa esto es confín de que la transpiración sea de la misma hoja y al momento de cortarla también tendrá la deshidratación.
- Se esperó 30 minutos.
- Se cortó la hoja con un estilete limpio en forma muy parejo y posteriormente se ha introducido el peciolo de la hoja a la cámara lo cual tiene que estar cerrado bien y luego se abrió el gas.
- Después de haber hecho los procedimientos anteriores se realizó la lectura cuando el manómetro sube y luego se observó con la lupa, cuando aparece una gota de agua se apagó el gas
- Al final se realizó la lectura en bares.



**Figura 21.** Toma de datos de cámara de Scholander

### 5.2.16. Productividad del agua

La productividad del agua en los cultivos (WP) se define como “la cosecha producida por unidad de agua consumida en la producción (t m<sup>3</sup> o kg m<sup>3</sup>), esta variable se efectúo una vez realizada la cosecha y cuantificado el rendimiento, para relacionarla con la cantidad de agua aplicada empleando la siguiente relación:

$$WP = \text{Rendimiento en kg} / \text{volumen total de agua aplicada en m}^3 \quad (10).$$

### 5.2.16.1. Eficiencia de uso del agua

Esta variable fue determinada sobre la base del rendimiento obtenida por unidad de superficie, en relación a la lámina de agua aplicada durante el ciclo del cultivo, de acuerdo a la ecuación (11), Micucci y Álvarez (2003).

$$EUA = Rd/VAU \quad (11)$$

Dónde:

EUA = Eficiencia de uso del agua (g/cm<sup>3</sup>)

Rd = Rendimiento del cultivo (kg/ha)

VAU = Volumen de agua aplicado (cm<sup>3</sup>/ha)

### 5.2.17. Análisis económico

En la presente investigación se consideró la rentabilidad del uso de agua mediante estrategias de riego deficitario. Esta evaluación se realizó siguiendo el método de costos marginales, metodología utilizada en la evaluación económica en los campos de agricultura (Perrin *et al.*, 1988).

Por lo que se tiene el siguiente desglose económico:

#### Ingreso bruto

El ingreso bruto es el resultado del rendimiento del cultivo de papa por el precio del mismo en el mercado, por unidad de superficie.

$$IB = R - P \quad (12)$$

IB = Ingreso bruto

R = Rendimiento

P = Precio en el mercado

## **Ingreso neto**

El ingreso neto es el resultado del ingreso bruto menos los costos de producción.

$$\mathbf{IN = IB - CP} \quad \mathbf{(13)}$$

IN = Ingreso neto

CP = Costos de producción

## **Relación beneficio/costo**

Beneficio/costo es una relación de los ingresos brutos sobre los costos de Producción, el cual indica rentabilidad de una actividad.

$$\mathbf{CP = \frac{IB}{B/C}} \quad \mathbf{(14)}$$

**B/C** = Relación beneficio costo

**IB** = Ingreso bruto

**PC** = Costos de producción

La relación beneficio/costo (B/C), se determina de la siguiente manera: La relación  $B/C > 1$ : los ingresos económicos son mayores a los gastos de producción por lo tanto el cultivo con cierto sistema de producción es rentable, el agricultor tiene ingresos.

La relación  $B/C = 1$ : los ingresos económicos son iguales a los costos de producción, el cultivo con cierto sistema de producción no es rentable, solo cubre los gastos de producción, el agricultor no gana ni pierde.

La relación  $B/C < 1$ : no existe beneficios económicos, por lo tanto el cultivo con cierto sistema de producción no es rentable, el agricultor pierde.



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, son expresados a continuación:

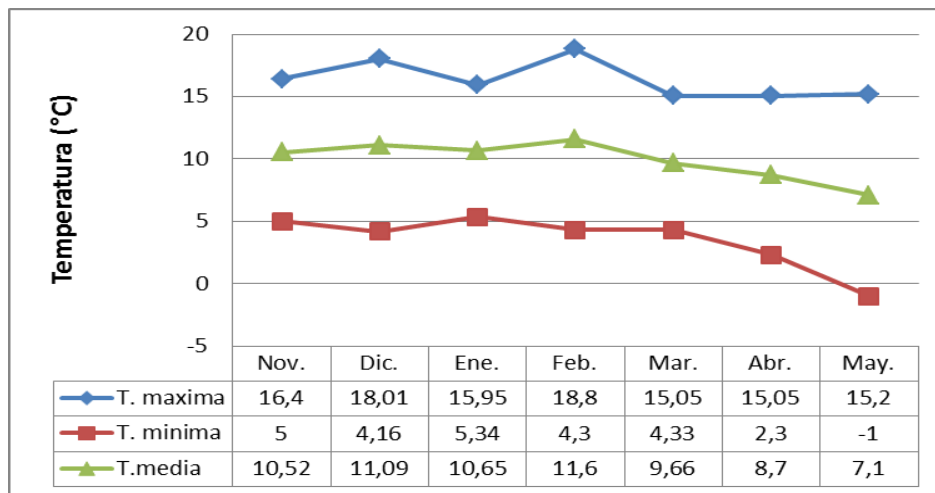
### 6.1. Características climatológicas en Estación Experimental de Choquenaira

Es necesario conocer aquellos factores que participaron de manera directa en la respuesta del cultivo, como las condiciones ambientales que se produjeron durante el periodo en el que se desarrolló la investigación.

Con base a la información obtenida de una consola instalada en la Estación se presenta los parámetros climáticos:

#### 6.1.1. Temperatura

En la figura 22, se observa que la temperatura máxima se dio durante el mes de febrero alcanzando 18,8 °C, la temperatura mínima en mes de abril alcanzando 2,3 °C y -1 °C bajo cero en el mes de Mayo y la temperatura media se dio durante el mes de febrero alcanzando 11,6 °C.

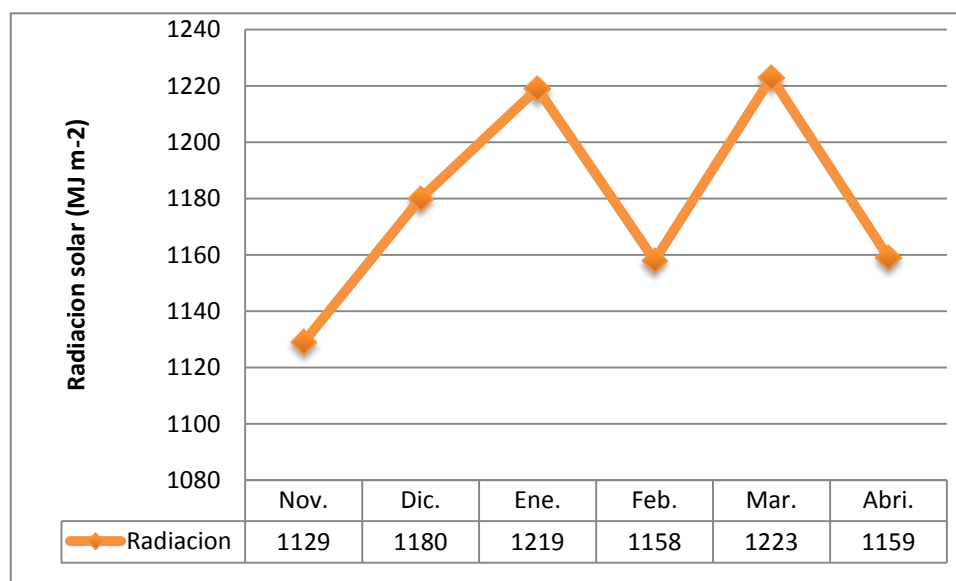


**Figura 22.** Promedios mensuales de temperaturas máximas y mínimas registradas en la Estación Experimental Choquenaira.

Las temperaturas ideales se sitúan en el rango de 15 a 20 °C para el crecimiento de las plantas y de 14 a 18 °C para la tuberización. La variedad Waycha Paceña 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 (Canqui y Morales 2009).

### 6.1.2. Radiación solar

Comportamiento de la radiación solar ocurrido durante el desarrollo del cultivo de papa.



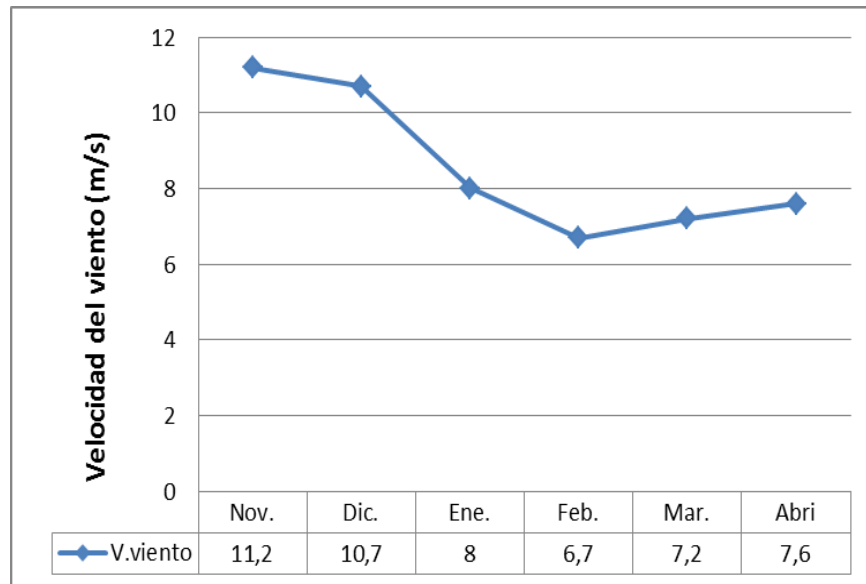
**Figura 23.** Radiación solar ocurrida durante el desarrollo vegetativo del cultivo

Se puede apreciar en la figura 23, que la máxima radiación ocurrida fue en el mes de marzo con un valor de 1223 MJ m<sup>-2</sup> y la mínima se dio en el mes de noviembre alcanzando un valor de 1129 MJ m<sup>-2</sup>

La radiación solar es otro de los factores climáticos que influye en el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa. La luz tiene una incidencia directa sobre fotoperiodo, ya que induce la tuberización. Los fotoperiodos cortos son más favorables a la tuberización y los largos inducen el crecimiento (Sánchez 2003).

### 6.1.3. Velocidad del viento durante el periodo vegetativo de la papa

Durante el trabajo de campo se observó que la zona de estudio presenta vientos frecuentes tal como se muestra en la figura 24, se puede observar la distribución de la velocidad del viento durante el ciclo vegetativo de la papa.



**Figura 24.** Velocidad media del viento ocurrida durante el desarrollo vegetativo del cultivo

En la figura 24, se detalla los vientos predominantes en la zona, son secos y corren a una velocidad media de  $8 \text{ m s}^{-1}$  registrada a una altura de 2 metros sobre el nivel del terreno. La máxima velocidad del viento ocurrió en el mes de noviembre 2016 con  $11,2 \text{ m s}^{-1}$ , mientras que la mínima se dio en el mes de febrero con  $6,7$ .

Según Román y Hurtado (2002), los vientos para el cultivo de papa deben ser moderados, ya que las plantas no resisten vientos con velocidades mayores a  $5,6 \text{ m s}^{-1}$ , sin que estos causen daños o influyan en los rendimientos.

#### 6.1.4. Evolución de las precipitaciones y la evapotranspiración de referencia durante el periodo vegetativo de la papa.

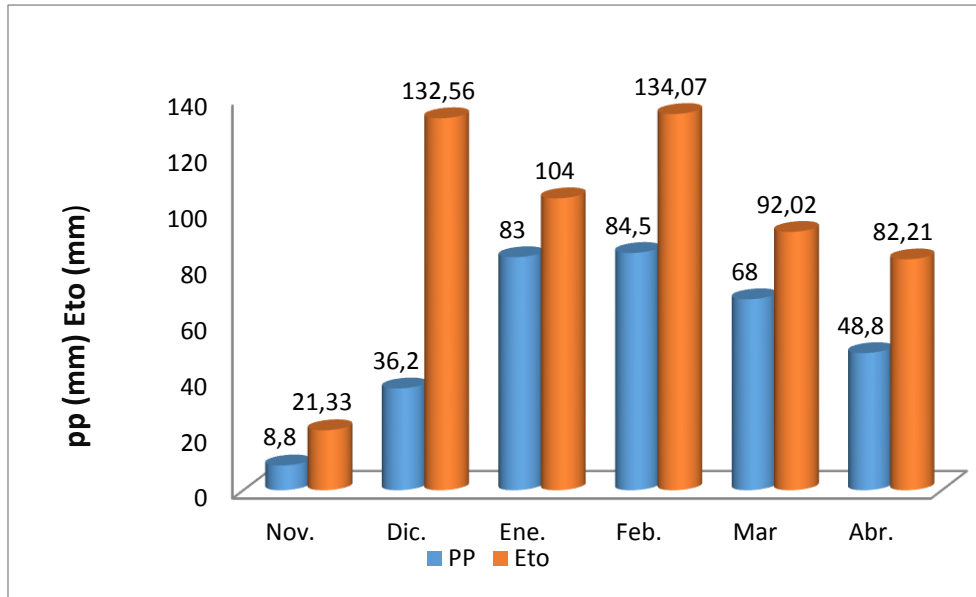
A continuación en el cuadro 10 se detalla la precipitación pluvial y la evapotranspiración de referencia promedio mensuales, registrada por la estación instalada en el lugar, durante el ciclo del cultivo.

**Cuadro 10.** Precipitación y la evaporación de referencia.

Meses	PP (mm)	Eto (mm)	PP/Eto (mm/mm)
Noviembre	8,8	21,33	0,41
Diciembre	36,2	132,56	0,27
Enero	83	104	0,79
Febrero	84,5	134,07	0,63
Marzo	68	92,02	0,74
Abril	48,8	82,21	0,54
Total	329,3	566,19	0,56

**Fuente:** Elaboración propia en base datos meteorológicos estación experimental de Choquenaira - Viacha

Como se observa en el cuadro 10 el promedio mensual registrado de la evapotranspiración fue mayor a la precipitación del 25 al 30 noviembre, en relación precipitación / evapotranspiración fue de 0,41 y bajo en diciembre a 0,27, aumento en el mes de enero a 0,79, en febrero fue donde bajo a 0,63. En el mes de marzo aumento a 0,74 y finalmente en el mes de abril bajo a 0,54 mm. Se aprecia que en el mes de enero hubo mayor precipitación pluvial, en cambio en diciembre fue el mes con menor presencia de lluvia.



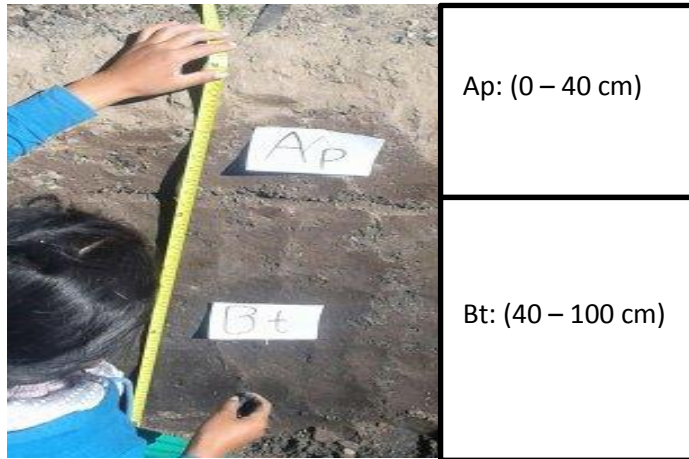
**Figura 25.** Comportamiento de la evapotranspiración de referencia (ETo), y la precipitación pluvial (PP) en mm, registradas en el periodo 2016 - 2017, en la Estacion Experimental de Choquenaira – Viacha.

En la figura 25, se observa que el Eto del 25 al 30 de noviembre fue de 21,33 mm, en el mes de abril fue de 82,21 mm, en el mes de febrero fueron superiores a los aportes de la PP, con 84,5 mm, y que solo en enero hubo una PP cercano a la ETo siendo el mes con mayor incidencia de lluvias lo cual favoreció al cultivo, pues este atravesaba la fase de desarrollo que es una fase crítica de requerimiento hídrico.

## 6.2. Descripción de las características edáficas de la zona de estudio

### 6.2.1. Descripción del perfil del suelo

La descripción del perfil del suelo fue realizada mediante la excavación de una calicata en la parcela experimental del cultivo de papa. En la parcela se observó rastros de un cultivo anterior, presenta vegetación como pasto tikuyo, se pudo evidenciar dos horizontes como se muestra en la figura. 26



**Figura 26.** Descripción del perfil del suelo

En la figura 26, se observan dos horizontes claramente diferenciados, los cuales se describen a continuación:

**Ap: (0 – 40 cm)**

Horizonte superficial cultivado arado cuya es de Textura: Franco arcilloso; estructura de tipo granular de grado moderado y clase media; de consistencia en mojado adherente y plástico, firme en húmedo y duro en seco; porosidad fina; raíces finas y limite gradual plano.

**Bt: (40 – 100 cm)**

Textura: Franco arcilloso es un horizonte sub superficial con acumulación de pluvial.

**6.2.2. Calculo de densidad aparente**

En complementación, la densidad aparente fue determinada por el método del cilindro muestreador descrito en el acápite de metodología, para ello se tomaron 5 muestras de suelo para luego calcular el promedio, como se muestra en el cuadro 11.

**Cuadro 11.** Densidad aparente del suelo

<b>muestra</b>	<b>Masa de suelo seco ms (g)</b>	<b>Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dap (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	75,11	59,4	1,26
<b>2</b>	103,67	59,4	1,74
<b>3</b>	108,97	59,4	1,73
<b>4</b>	95,53	59,4	1,60
<b>5</b>	85,04	59,4	1,43
<b>Promedio</b>	468,3	297	1,56

**Fuente:** Elaboración propia

La densidad aparente (Dap) presentó un valor de 1,56 g/cm<sup>3</sup>, al respecto el CENTA (2002) menciona el requerimiento del cultivo de papa, de la Dap de 1,20 g/cm<sup>3</sup> aproximadamente. En el presente trabajo de investigación la Dap del suelo no presento efectos negativos en el comportamiento del cultivo.

### **6.2.3 Características físicas del suelo**

Como resultado del análisis físico de la capa arable, el suelo presentó una textura Franco Arcilloso, tal como se detalla en el cuadro 12.

**Cuadro 12.** Características físicas del suelo en el área experimental.

<b>Prof. (cm)</b>	<b>30</b>
<b>Arena (%)</b>	28
<b>Limo (%)</b>	36
<b>Arcilla (%)</b>	36
<b>Grava (%)</b>	0,0
<b>Clase textural</b>	FY
<b>Dap (g/ml)</b>	1,56

**Fuente:** laboratorio IBTEN, 2017

Como se observa en el cuadro 12, la capa arable del suelo presentó una textura franco arcillosa (FY), la descripción del perfil del suelo muestra que los horizontes superficiales Ap y Bt, que alcanzan una profundidad de 0 - 30 y de 40 - 100 cm son de textura franco arcillosa.

Por otro lado la densidad aparente es de 1,56 g/ml menor a 1,9 g/ml, lo cual no es un suelo compacto, favoreciendo a las raíces, que necesitan poca energía para su desarrollo y poco oxígeno (Miranda, 2004).

#### 6.2.4. Características químicas del suelo del área experimental.

Los resultados del análisis químico del suelo, efectuado en el laboratorio del IBTEN, se muestra en el siguiente cuadro 13.

**Cuadro 13.** Características químicas de suelo.

Parámetros	Resultados	Unidades
PH	6,65	
Conductividad eléctrica	0,183	uS/cm
Calcio	9,45	meq/100g
Magnesio	2,04	meq/100g
Sodio	0,27	meq/100g
Potasio	647,4	Ppm
Materia orgánica	2,38	%
Nitrógeno total	1500	Ppm
Fosforo asimilable	35,95	Ppm

**Fuente:** laboratorio IBTEN, 2017

Según el cuadro 13, se muestra los resultados de análisis químico del suelo, mostrando un pH ligeramente neutro con 6,65 valor que representa una característica lo cual es ventajoso por los requerimientos de la papa. Al respecto los valores de nitrógeno por debajo de 600 ppm, se consideran bajos; entre 600 y 1000 ppm son considerados medios y por encima de mil altos. Al mismo tiempo también sostiene que el fosforo debe encontrarse entre los rangos 3,6 a 8 ppm que son



considerados medios y menores a 3,5 ppm son bajos, por lo cual la muestra se considera como bajos.

Según Pardave (2004) citado por Guerra (2012), la papa requiere un suelo profundo, orgánico, mullido, con buena retención de humedad, es así que los mejores rendimientos se logran en suelos franco, en un Ph de 5,5 a 8,0.

### 6.2.5. Análisis de agua

El siguiente Cuadro 14. Hace referencia a los resultados obtenidos del análisis correspondiente del agua, obtenido del laboratorio de IBTEN (Instituto Boliviano de Ciencia Tecnología Nuclear).

**Cuadro 14.** Resultados del análisis químico del agua de riego

Parámetros	Resultados	Unidades
PH	8,80	
Conductividad eléctrica	277,00	μS/cm
Sodio	29,56	mg/L
Potasio	8,53	mg/L
Calcio	16,13	mg/L
Magnesio	4,71	mg/L
Cloruros	9,50	mg/L
Carbonatos	38,25	mg/L
Bicarbonatos	0,00	mg/L
Sulfatos	51,45	mg/L
Solidos suspendidos	6,00	mg/L
Solidos totales	70,36	mg/L
Solidos disueltos	62,55	mg/L
Boro	0,70	mg/L

**Fuente:** Laboratorio IBTEN, 2017

Según la observación en el cuadro 14, muestra que el agua de riego en la Estación Experimental Choquenaira es de buena calidad y apta para el riego, según los

valores obtenidos en los análisis químico con una conductividad eléctrica de 277 micro siemens que corresponde a una calidad de agua excelente.

Según Sánchez (2005) la papa es tolerante a la salinidad. La C.E. de 277  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (cuadro 14), el agua de riego pertenece a la clase C1, el cual es clasificado como un agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.

### 6.3. Láminas de riego aplicado en el cultivo de papa

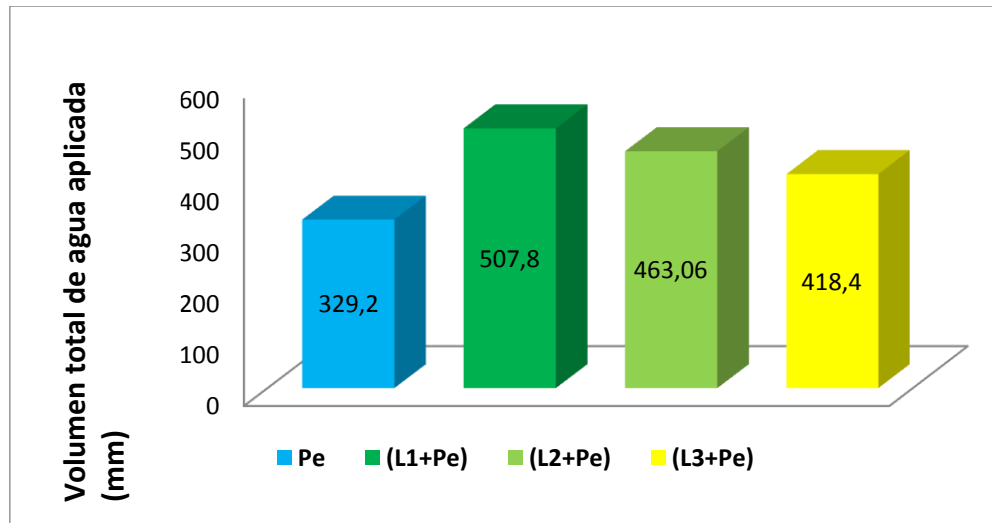
El volumen total de agua que fue aplicada al cultivo de papa corresponde a la suma de la precipitación efectiva (Pe) más el riego (R), (R+PP), de esta manera el volumen total de agua recibido por el cultivo durante su ciclo vegetativo tal como se puede apreciar en el cuadro 15.

**Cuadro 15.** Volumen total de agua aplicada, riego más precipitación

Niveles de riego	Volumen de agua Aplicado con riego		Volumen de agua total (riego + pp)	
	(L m <sup>-2</sup> )	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	(L m <sup>-2</sup> )	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
<b>L1 100%</b>	178,6	1786	507,8	5078
<b>L2 75%</b>	133,9	1339	463,06	4630,6
<b>L3 50%</b>	89,2	892	418,4	4184

De acuerdo con el cuadro 15, el volumen total de agua aplicada (R+Pe), para el tratamiento T1 (100% de lámina de riego calculada), fue de 5078 m<sup>3</sup>/ha, el T2 (75 % de lámina de riego), alcanzó un valor de 4630,6 m<sup>3</sup>/ha, y del T3 (50 % de lámina de riego) fue de 4184 m<sup>3</sup>/ha. El volumen de aporte de agua por la Pe, fue por igual para los tres tratamientos con un valor de 3292 m<sup>3</sup>/ha.

La aplicación de riego al cultivo fue con una frecuencia de riego cada 5 días, de acuerdo a sus necesidades hídricas, donde se tuvo programado 17 riegos y que por consecuencia de las precipitaciones excesivas, que superaron a la Eto, en 4 oportunidades, se disminuyeron a 13 aplicaciones,



**Figura 27.** Volumen total de agua aplicado (Riego + Precipitación efectiva)

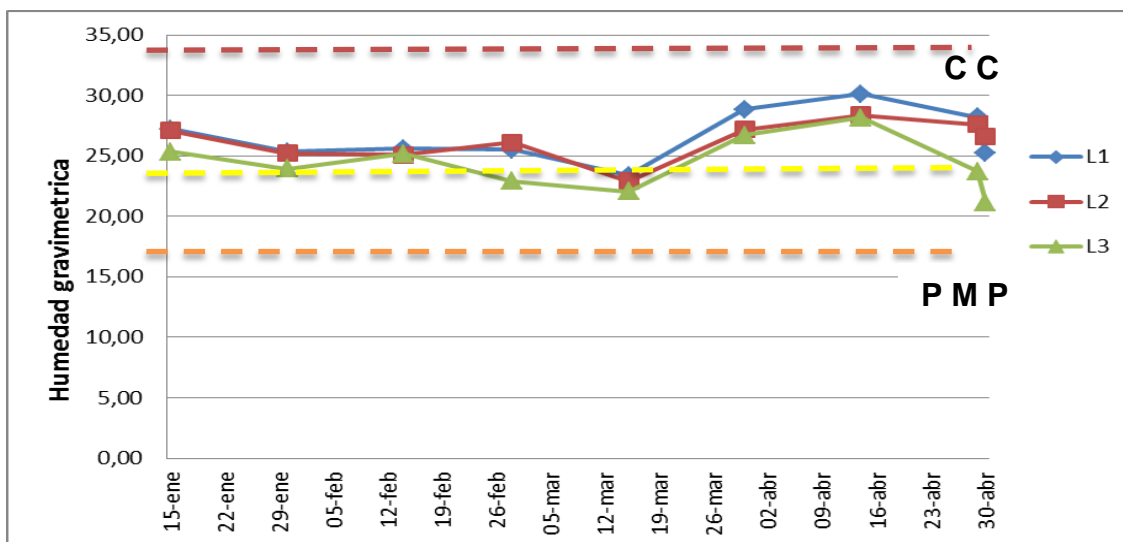
El volumen de agua aplicada durante el ciclo vegetativo del cultivo, según la figura 27, Se observa que la lámina 100% fue 507,8 mm, para el L2 es de 463,06 mm y el L3 más inferior es de 418,4 mm.

De acuerdo con Sánchez (2003), el cultivo de papa requiere de 500 a 700 mm de agua durante su periodo vegetativo. Al respecto (Vásquez, citado por Pacheco y Pérez 2010), menciona un rango para el cultivo de papa de 400 a 800 mm,

Entonces los volúmenes totales aplicados en el presente ensayo el T3 están por encima de intervalo y el T2 - T3 se encuentra en el intervalo, Esto indica que el cultivo de papa ha tenido un requerimiento de agua adecuado.

#### **6.4. Contenido de humedad del suelo**

La descripción del contenido de humedad del suelo de la parcela experimental fue evaluada dos veces a la semana de las tres láminas de riego para diferentes tratamientos, tal como se muestra en la figura 28.



**Figura 28.** Humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo

Según la figura 28, se observa las láminas de riego aplicado durante el desarrollo del cultivo se puede evidenciar que los últimos riegos la lámina 100% es superior a las otras láminas, sin embargo las tres laminas se mantuvieron en una humedad adecuada.

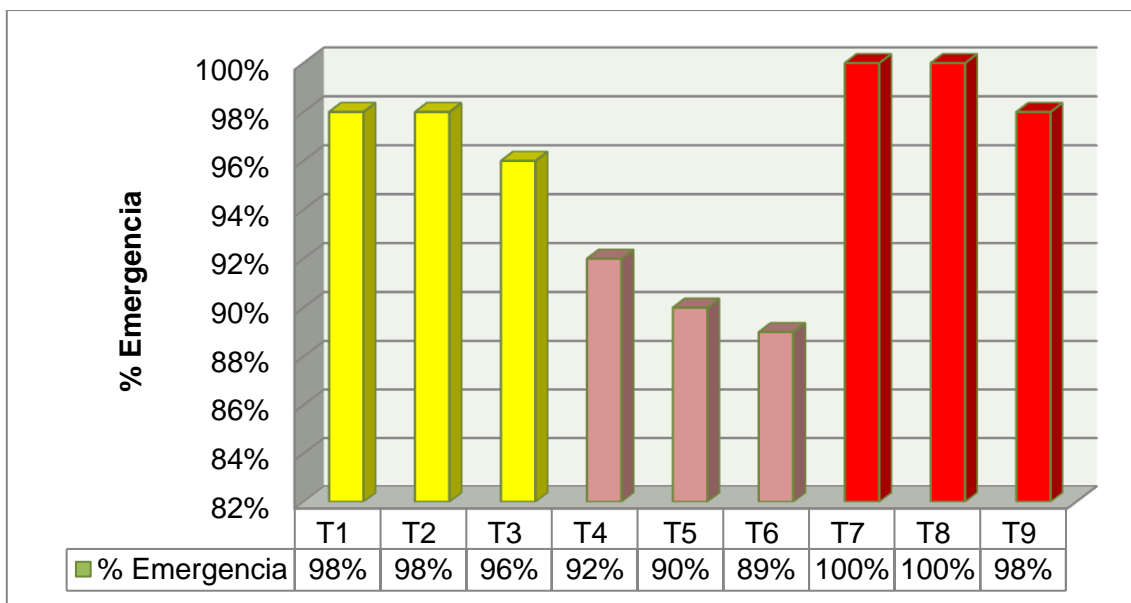
Fuente Cuenca (1989) se exponen los resultados de humedad del suelo a capacidad de campo (C.C.) con un valor de 35 % y el punto de marchitez permanente (P.M.P.) mostrando un valor de 20 %, en complementación también se traza la línea correspondiente al 50 % del agua disponible total (ADT) que presenta un valor del 22 % de la  $\Theta$ , por lo tanto la humedad está en el rango permitido.

## 6.5. Resultados de las variables de respuesta

### 6.5.1. Variables fenológicas

#### a) Porcentaje de la emergencia

Presenta que no existen diferencias entre los niveles de riego aplicado para esta variable. Ya que no se aplicó los niveles de riego



**Figura 29.** Porcentaje de emergencia.

Se puede apreciar en la figura 29, en las tres variedades de papa, los tratamientos que tuvieron mayor porcentaje de emergencia fueron la variedad Waycha con 100%, su evaluación fue de 35 días, seguidamente la Variedad Luk'i tuvo una emergencia de 98% se evaluó a los 28 días y la Variedad Phiñu tuvo menor porcentaje de emergencia con 90% la evaluación fue de 40 – 45 días lo cual en la etapa de emergencia no se aplica el riego.

Las condiciones del tubérculo - semilla están determinadas por el estado fisiológico de los tubérculos, su tamaño y sus condiciones físicas. Las condiciones del suelo están determinadas por su estructura, humedad y temperatura, como indica Cortbaoui (1988).

## **6.5.2. Variables agronómicas**

### **6.5.2.1. Altura de planta**

El análisis de varianza (ANVA), con la aplicación de niveles de riego para esta característica agronómica obtuvo los siguientes resultados que indica el efecto de los factores sobre la altura de la planta.

**Cuadro 16.** El análisis de varianza (ANVA), altura de planta

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>SIG.</b>
<b>Bloque</b>	2	95,70	47,85	2,64	0,112	NS
<b>Variedad (A)</b>	2	822,51	411,25	22,68	<,0001	**
<b>Bloque * A</b>	4	298,07	74,52	4,11	0,025	*
<b>Lamina (B)</b>	2	113,22	56,61	3,12	0,08	NS
<b>V*L</b>	4	68,71	17,18	0,95	0,47	NS
<b>Error</b>	12	217,57	18,13			
<b>Total</b>	26	1615,81				

Coefficiente de varianza =13.05 %

El análisis de varianza (ANVA), altura de planta con la aplicación de niveles de riego con un coeficiente de variación de 13,05 % indicando que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

En cuanto a las variedades papa (factor A), el resultado del análisis de varianza son altamente significativa (\*\*), esto indica que las variedades papa muestran diferencias en la altura de planta, a un nivel de 5% de probabilidad, por lo tanto se realizó la prueba de Duncan para determinar entre que variedades existen diferencias.

El resultado de las láminas de riego (factor B), el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas (NS), en la altura de planta. Por lo tanto no se realiza la prueba Duncan.

El resultado de la interacción de los dos factores (variedades de papa \* láminas de riego), el análisis de varianza, indica que no hay diferencias significativas (ns), entonces la acción conjunta factor A y factor B (variedades de papa \* láminas de riego), no muestra diferencias en la altura de planta, por lo tanto son efectos independientes.

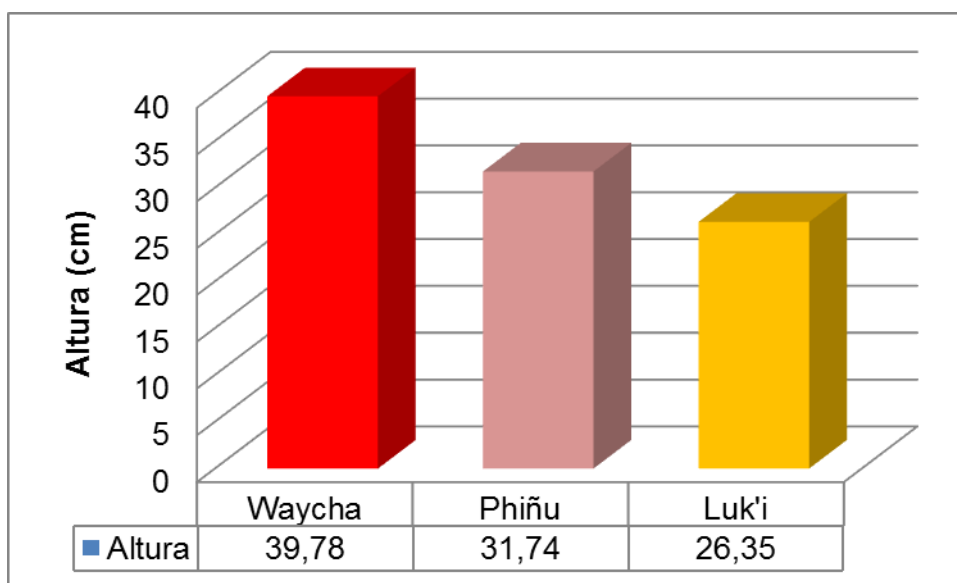
## Comparación de medias de la altura de la planta

La prueba de Duncan al 5% de probabilidad estadística para la altura como se muestra en el cuadro 17.

**Cuadro 17.** Comparación de medias de la altura de la planta.

Duncan	Media	N	Factor A
A	39,78	9	Waycha
B A	31,74	9	Phiñu
B	26,35	9	Luk'i

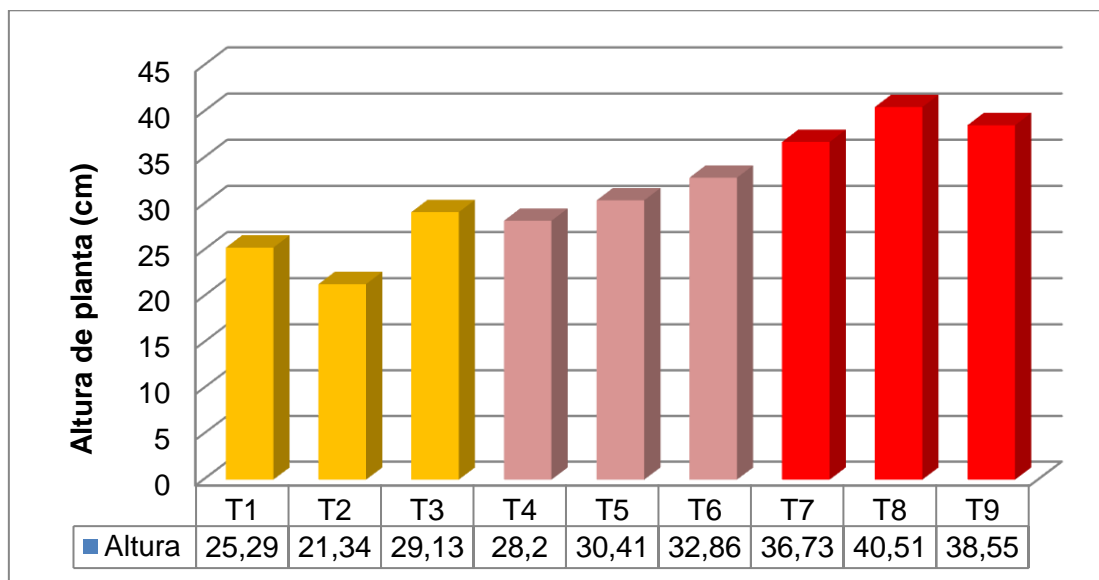
En el cuadro 17, se observa la prueba de Duncan al 5 %, el efecto especificativo de las tres variedades papa, la variedad Waycha tuvo una mayor altura con un promedio de 39,78 cm, seguido de la variedad Phiñu que tuvo un promedio de 31,74 cm. y la variedad Luk'i la que tuvo menor crecimiento con 26,35 cm.



**Figura 30.** Alturas obtenidas en promedio, por cada variedad.

En la figura 30. Se observa que la Variedad (Waycha) consiguió un promedio de 39,78 cm se Altura, lo cual muestra superioridad, la variedad Phiñu tiene un promedio de altura de 31,74 cm y la Variedad (Luk'i) con la menor altura de 26,33 cm.

En la figura 31. Se puede evidenciar que existen diferencias entre los nueve tratamientos, de tres variedades de papa con la aplicación de tres niveles de riego, se evaluó durante la fase de inicio, fase de desarrollo y fase de floración.



**Figura 31.** Altura de plantas de variedades de papa por efecto de tres niveles de riego.

En la figura 31. Refleja la altura de planta en promedio de las distintas variedades con la aplicación de tres niveles de riego, T8 de la (Variedad Waycha \* Lamina 75 %), tuvo un mayor crecimiento con 40,51 cm, seguidamente el T6 de (Variedad Phiñu \* Lamina 50%), obtuvo un crecimiento de 32,86 cm. y finalmente T3 de la (variedad Luk'i \* lamina 50%), que tuvo un mayor crecimiento con 29,13 cm.

De acuerdo con Chipana (2010), Incrementos en la cantidad de agua de riego hacen que la altura de la planta de papa aumente. Lo cual hace constar que un buen contenido de agua en el suelo favorece una absorción regular de nutrientes, que repercutirá en el crecimiento y desarrollo de la planta.

#### 6.5.2.2. Número de hojas

El análisis de varianza (ANVA), para esta característica agronómica obtuvo los siguientes resultados que indica el efecto de los factores sobre número de hojas.



**Cuadro 18.** El análisis de varianza (ANVA), número de hojas de tres variedades de papa con la aplicación de niveles de riego.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>SIG.</b>
<b>Bloque</b>	2	22,29	11,15	3,72	0,05	NS
<b>A</b>	2	11,62	5,81	1,94	0,19	NS
<b>Bloque*A</b>	4	29,70	7,43	2,48	0,10	NS
<b>B</b>	2	3,85	1,93	0,64	0,54	NS
<b>A*B</b>	4	17,48	4,37	1,46	0,28	NS
<b>Error</b>	12	36	3			
<b>Total</b>	26	120,96				

Coeficiente de varianza =7,86

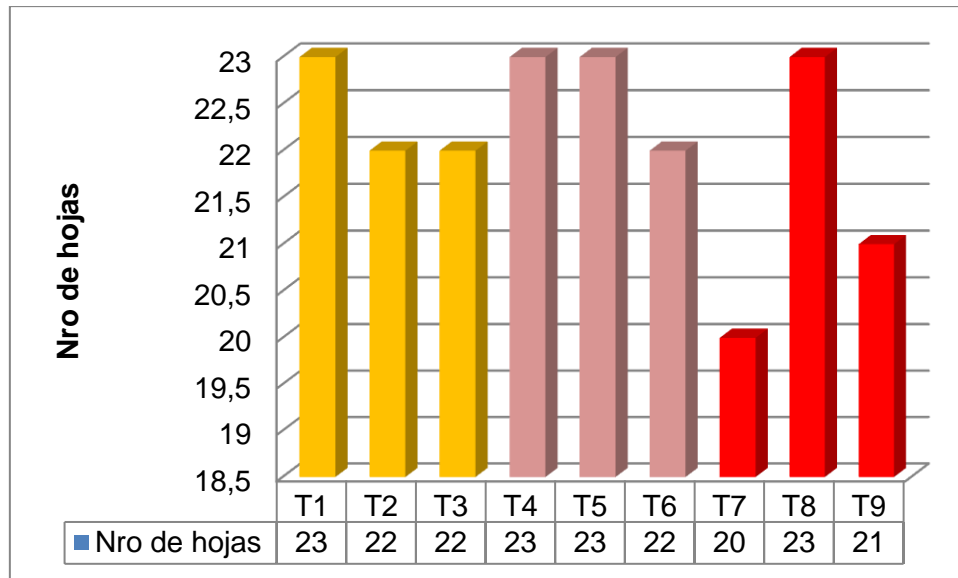
El análisis de varianza (ANVA), número de hojas con la aplicación de niveles de riego con un coeficiente de variación es de 7,86 %, indica que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

En cuanto a las variedades papa (factor A), el resultado del análisis de varianza es no significativa (NS), esto indica que las variedades papa no muestran diferencias en número de hojas. A un nivel de 5% de probabilidad, por lo tanto no se realiza la prueba de Duncan para determinar entre que variedades no existen diferencias.

El resultado de las láminas de riego (factor B), el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas (NS), en número de hojas.

El resultado de la interacción de los dos factores (Variedades de papa \* Láminas de riego), el análisis de varianza, indica que no hay diferencias significativas (ns), entonces la acción conjunta factor A y factor B (Variedades de Papa \* Láminas de Riego), no muestra diferencias en número Hojas, por lo tanto son variables independientes.

En la figura 32. Se observa el número de hojas en las tres variedades de papa con la aplicación de tres niveles de riego.



**Figura 32.** Número de Hojas por planta con la aplicación de niveles de riego

La figura 32, refleja el número de hojas por planta en promedio de las distintas variedades con la aplicación de niveles de riego, el tratamiento T1 (Variedad Luk'i \* L1 100%), presentó 23 hojas en promedio, T4 -T5 (Phiñu \* L1 - L2 100% - 75%) presentan el mismo número de hojas con 23 unidades y T8 (Variedad Waycha \* L2 75%) presenta 23 hojas.

Solórzano *et al.* (1993) señalan que cuando la humedad del suelo es adecuada, los requerimientos del cultivo son abastecidos a plenitud, la velocidad de absorción de agua por las raíces es superior a la velocidad de transpiración, adelantándose el desarrollo de los tallos y hojas en crecimiento. Se incrementa la fotosíntesis o producción de materia seca.

## 6.6. Variables de rendimiento

### 6.6.1. Número de tubérculos por planta

El análisis de varianza (ANVA), para esta característica agronómica obtuvo los siguientes resultados que indica el efecto de los factores sobre número de tubérculos por planta.

**Cuadro 19.** Análisis de varianza (ANVA), número de tubérculos por planta

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F	SIG.
Bloque	2	5,62	2,81	0,43	0,66	NS
Variedad(A)	2	338,07	169,03	25,64	<,0001	**
Bloque*A	4	158,59	39,64	6,01	0,0068	**
Laminas (B)	2	2,07	1,03	0,16	0,856	NS
V*L	4	110,81	27,70	4,2	0,023	*
Error	12	79,11	6,59			
Total	26	694,29				

Coefficiente de varianza =14,78

El análisis de varianza (ANVA), número de tubérculos por planta con la aplicación de niveles de riego con un coeficiente de variación de 14,78 %, indicando que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

En cuanto a las variedades papa (factor A), el resultado del análisis de varianza son altamente significativa (\*\*), esto indica que las variedades papa muestran diferencias en número de tubérculos por planta, a un nivel de 5% de probabilidad, por lo tanto se realizó la prueba de Duncan para determinar entre que variedades que existen diferencias.

El resultado de las láminas de riego (factor B), el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas (NS), en número de tubérculos por planta. Por lo tanto son variables independientes.

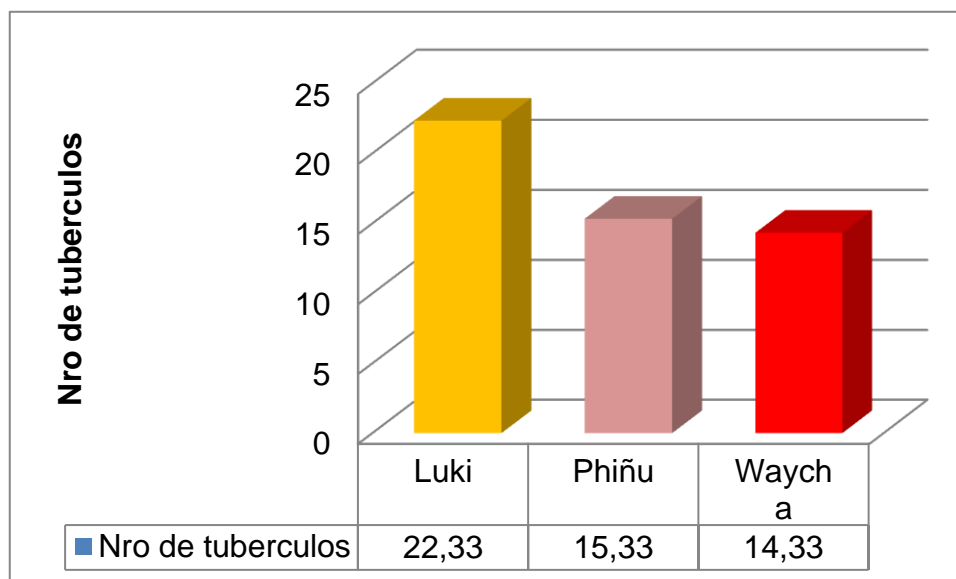
El resultado de la interacción de los dos factores (variedades de papa \* láminas de riego), el análisis de varianza, indica que hay diferencias significativas (\*\*), entonces la acción conjunta factor A y factor B (variedades de papa \* láminas de riego), muestra diferencias entre número de tubérculos por planta.

De acuerdo a la alta significancia que manifestó esta variable en el análisis de varianza, se sometió a la prueba de medias de Duncan al 5% para comparar la relevancia de los tratamientos.

**Cuadro 20.** Comparación de medias, número de tubérculos por planta

Duncan	Media	N	Factor A
A	22,33	9	Luk'i
B	15,44	9	Phiñu
B	14,33	9	Waycha

En el cuadro 20, se puede observar la prueba Duncan al 5 % de las tres variedades de papa, la variedad Luk'i presentó mayor número de tubérculos con 22,33 y la variedad Waycha tuvo menor número de tubérculos con 14,33.



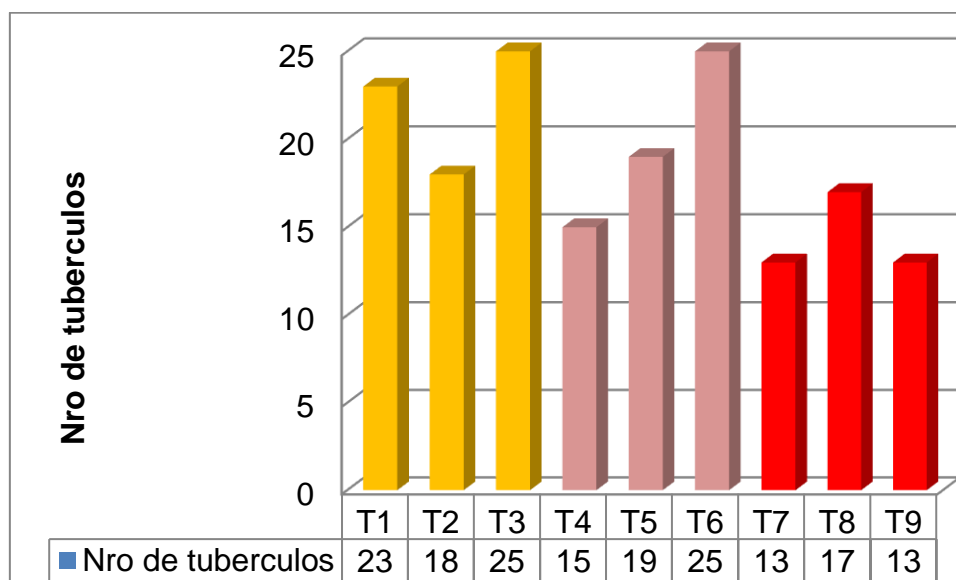
**Figura 33.** Promedio de Número de tubérculos por planta de las variedades

En la figura 33, se puede apreciar que la variedad Luk'i) consiguió mayor número de tubérculos por planta con 22,33 unidades y la variedad Phiñu obtuvo 15,44 tubérculos por planta posteriormente la variedad Waycha tubo menor número de tubérculos con 14,33 unidades. Esto nos indica que las tres variedades de papa existen diferencias en número de tubérculos por planta.

Mamani (2015), en su tesis realizada en la variedad Waycha del presente estudio y tratamientos de riego deficitario controlado, con valores de 10,6 y 13,3 tubérculos por planta.

Yuan *et al.* (2003), indican, que el incremento de riego aumenta el número y peso medio de los tubérculos. Esto genero un desarrollo mayor en la altura y cobertura foliar que consiguientemente produjeron una mejor fotosíntesis o producción de materia seca, que derivó en la formación de mayor número de estolones y estos para formar los tubérculos.

En la figura 34. Se detalla el número de tubérculos por planta de los nueve tratamientos, tres variedades de papa con la aplicación de tres niveles de riego.



**Figura 34.** Número de tubérculos por planta

En la figura 34, se detalla que las variedades de papa con la aplicación de niveles de riego, el T3 Variedad (Luk'i \* Lamina 50%), tuvo un mayor número de tubérculos con 25 unidades, el T6 Variedad (Phiñu \* Lamina 50%), obtuvo un mayor número de tubérculos de 25 unidades y finalmente el tratamiento que tuvo mayor número de tubérculos fue el T8 de Variedad Waycha 17 unidades.

Patty (2009), señala que el número de tubérculos por planta está afectado por la densidad de tallos, dependiendo a su vez de la competencia entre los tallos por los factores de crecimiento como ser los nutrientes, el agua, la luz, indicando también que el número de tubérculos depende entre otros factores de la variedad de la papa.

### 6.6.2. Rendimiento tn/ha

**Cuadro 21.** El análisis de varianza (ANVA), rendimiento de las variedades de papa.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F	SIG.
<b>Bloque</b>	2	823,18	411,59	6,85	0,0104	*
<b>A</b>	2	2455,62	1227,81	20,43	0,0001	**
<b>Bloque*A</b>	4	1203,70	300,92	5,01	0,0131	*
<b>B</b>	2	344,96	172,48	2,87	0,0958	NS
<b>A*B</b>	4	340,59	85,14	1,42	0,2871	NS
<b>Error</b>	12	721,11	60,09			
<b>Total</b>	26	5889,18				

Coeficiente de varianza: 16,76 %

El análisis de varianza (ANVA), rendimiento de las variedades de papa con la aplicación de niveles de riego, Con un coeficiente de variación de 16,76 %, indicando que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

En cuanto a las variedades papa (factor A), el resultado del análisis de varianza son altamente significativa (\*\*), esto indica que las variedades papa muestran diferencias en el rendimiento a un nivel de 5% de probabilidad, por lo tanto se realizó la prueba de Duncan para determinar entre variedades que existen diferencias.

El resultado de las láminas de riego (factor B), el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas (NS), en el rendimiento aplicando los niveles de riego.

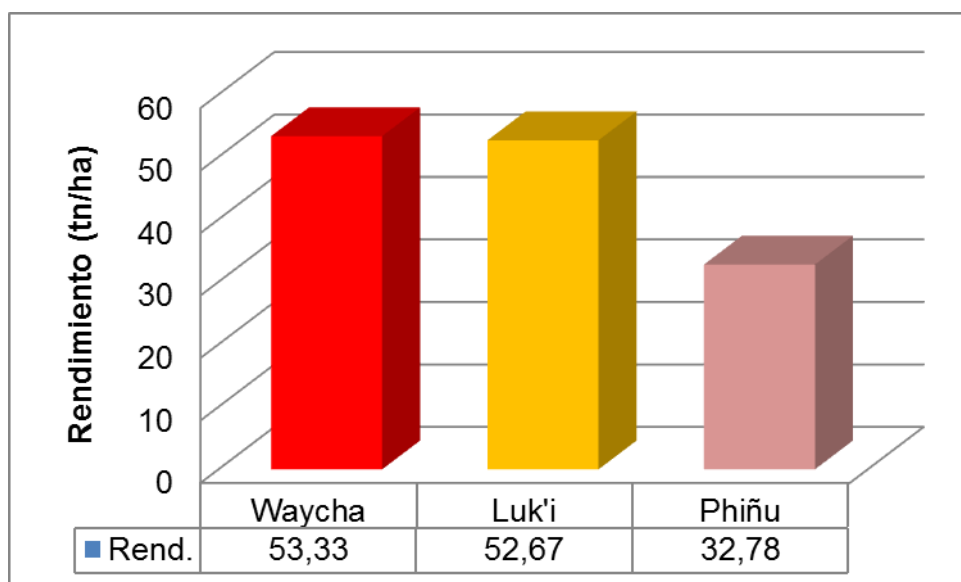
El resultado de la interacción de los dos factores (variedades de papa \* láminas de riego), el análisis de varianza, indica que no hay diferencias significativas (NS), entonces la acción conjunta factor A y factor B (variedades de papa \* láminas de riego), no muestran diferencias en el rendimientos.

Prueba de Duncan para rendimiento por efecto de variedades de papa.

**Cuadro 22.** Comparación de medias del rendimiento tn/ha

Duncan	Media	N	Factor A
A	53,333	9	Waycha
A	52,667	9	Luk'i
B	32,778	9	Phiñu

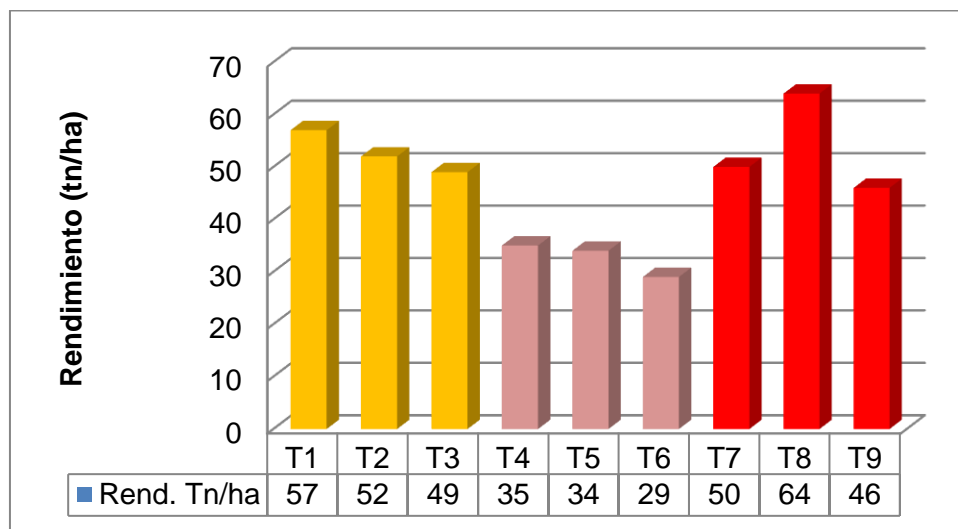
En la Cuadro 22, se puede apreciar que existen diferencias significativas de las variedades de papa según la prueba Duncan al 5 %.



**Figura 35.** Promedio de los rendimientos tn/ha de las variedades

En la figura 35, se puede evidenciar que el promedio de las tres variedades la variedad Waycha obtuvo mayor rendimiento con 53,33 tn/ha, la Variedad Luk'i obtuvo un rendimiento de 52,68 tn/ha y la variedad Phiñu tiene menor rendimiento con 32 tn/ha.

En la figura 36, se observa la variación del rendimiento que tuvieron en los diferentes tratamientos de variedades en función de las láminas de riego aplicados durante el ciclo del cultivo, que en total fueron programados 17 riegos, de los cuales se suspendieron 4, debido a la saturación excesiva del suelo por efecto de las lluvias intensas registradas.



**Figura 36.** Rendimiento de los diferentes tratamientos

Figura 36. Promedio de los rendimientos con la aplicación de niveles de riego

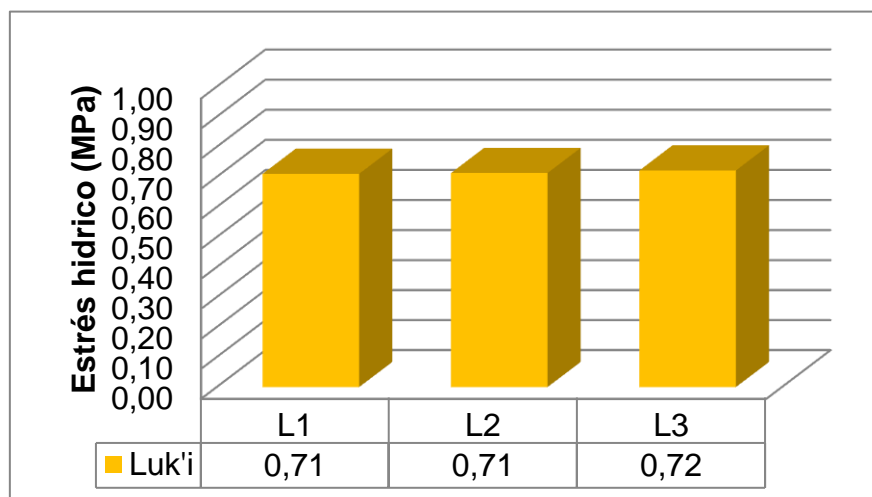
Se puede apreciar que el tratamiento T8 (variedad Waycha Lamina 75) presento el mayor rendimiento con 64 tn/ha el T1 (Variedad Luk'i \* Lamina 100%) presenta un rendimiento de 57 tn/ha y T4 (Variedad Phiñu \* Lamina 75%) tiene un rendimiento de 34 tn/ha.

Peralta (2008) indica que cuando los demás factores de producción y tecnología disponibles están presentes, el regar puede lograr incrementos de rendimientos importantes. El incremento de rendimiento por este concepto puede alcanzar sobre el 100%.



## 6.7. Potencial hídrico de la hoja (Scholander)

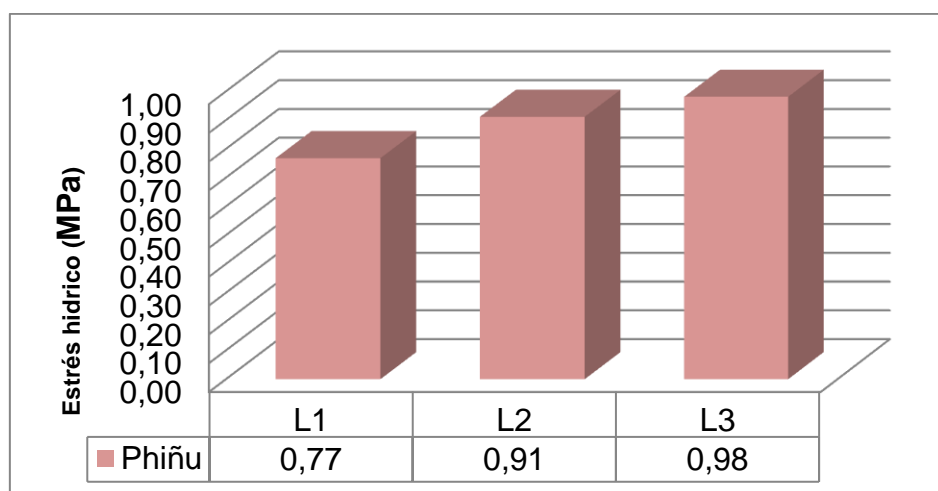
### Variedad Luk'i



**Figura 37.** Estrés hídrico de la planta variedad Luk'i

En la figura 37. Se observa el estrés hídrico de la hoja de la variedad Luk'i aplicando los tres niveles de riego, donde la lámina 100 % y la lámina 75 %, alcanzaron un promedio de estrés hídrico de 0,71 MPa y la lámina 50 % un promedio de 0,72 Mpa, por lo tanto el resultado muestra similitudes en el potencial hídrico, esto indica que la planta asimila la misma cantidad de agua.

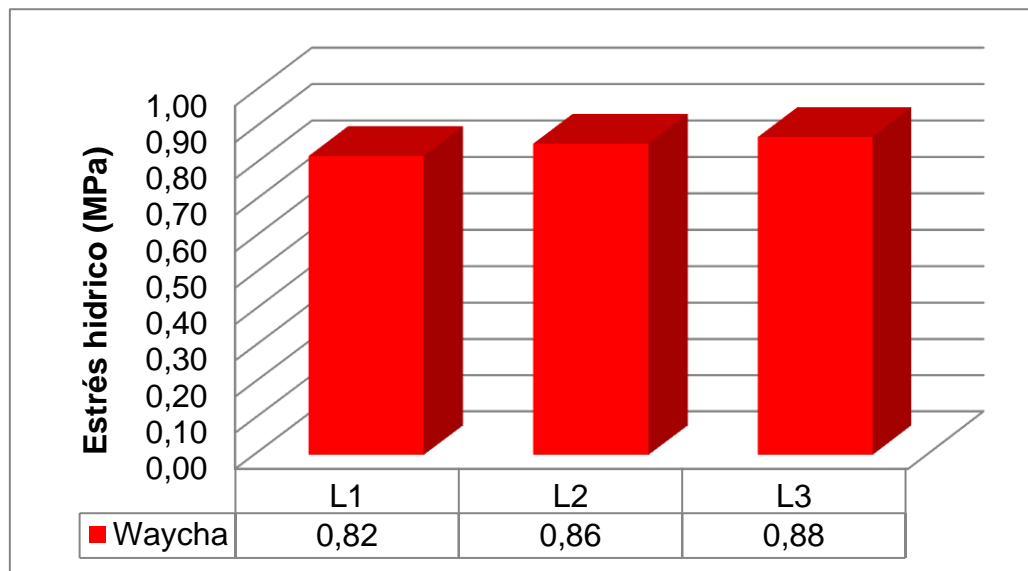
### Variedad Phiñu



**Figura 38.** Estrés hídrico de la planta variedad Phiñu

En la figura 38, se observa el estrés hídrico de la hoja de la variedad Phiñu aplicando los tres niveles de riego, donde la lámina 100 % alcanzo un promedio de estrés hídrico de 0,77 MPa, seguido de la lámina 75 %, que alcanzo un promedio de estrés hídrico de 0,91 MPa y la lámina 50 % un promedio de 0,98 Mpa, por lo tanto el resultado muestra diferencias de potencial hídrico ya que en la lámina 100% la planta asimilo mejor el agua.

### Variedad Waycha



**Figura 39.** Estrés hídrico de la planta variedad Waycha

En la figura 39. Se observa el estrés hídrico de la hoja de la variedad Waycha aplicando los tres niveles de riego, donde la lámina 100 % alcanzo un promedio de estrés hídrico de 0,82 MPa, seguido de la lámina 75 %, que alcanzo un promedio de estrés hídrico de 0,86 MPa y la lámina 50 % un promedio de 0,88 Mpa, por lo tanto el resultado muestra diferencias de potencial hídrico ya que en la lámina 100% la planta asimilo mejor el agua.

Según calderón (2013), indica que usan la bomba de presión para determinar el mejor momento de riego. Para hacer esto, los agricultores comparan valores reales medidos con la bomba de presión con un valor de referencia que represente las condiciones de una planta bien regada, o sea sin estrés.

## 6.8. Evaluación de la productividad del agua

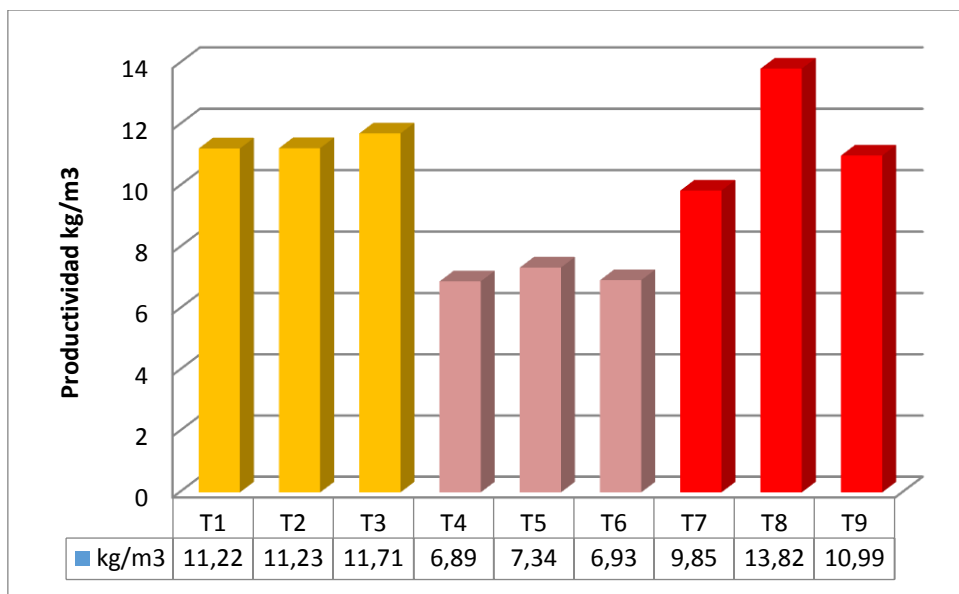
### 6.8.1. Productividad del agua

Para la sistematización, se partió de las relaciones establecidas entre los parámetros de cosecha y el total de lámina aplicada por tratamiento, para lo cual se utilizó los datos obtenidos en el experimento.

**Cuadro 23.** Volúmenes de agua aplicada y producción total en papa

Tratamientos	Niveles de riego	Volumen de agua l/m <sup>2</sup>	Volumen de agua m <sup>3</sup> /ha	Rendimiento kg/ha	Producción kg/m <sup>3</sup>
T1 Luk'i	100%	507,8	5078	57000	11,22
T2 Luk'i	75%	463,06	4630,6	52000	11,23
T3 Luk'i	50%	418,4	4184	49000	11,71
T4 Phiñu	100%	507,8	5078	35000	6,89
T5 Phiñu	75%	463,06	4630,6	34000	7,34
T6 Phiñu	50%	418,4	4184	29000	6,93
T7 Waycha	100%	507,8	5078	50000	9,85
T8 Waycha	75%	463,06	4630,6	64000	13,82
T9 Waycha	50%	418,4	4184	46000	10,99

En el cuadro 23. Se observa los valores referente a la productividad del agua, donde el tratamiento T8 manifestó un mejor aprovechamiento del agua aplicada logrando producir 13,82 kg de papa empleando un metro cúbico de agua, por consiguiente, el tratamiento ocho fue el que mejor aprovechó el agua total (Riego + Pe), para generar un mayor peso del producto cosechado por unidad de agua.



**Figura 40.** Productividad del agua (kg/m<sup>3</sup>).

En la figura 40, se observa los valores referente a la productividad del agua de las distintas variedades y láminas de riego, por consiguiente en la variedad Luk'i el T3 (lamina 50 %), presento un mejor aprovechamiento del agua aplicada logrando producir 11,71 kg/m<sup>3</sup>, en la variedad Phiño el T5 (Lamina 75 %), fue el que presento un mejor aprovechamiento del agua aplicada logrando producir 7,34 kg/m<sup>3</sup> y en la variedad Waycha el T8 (lamina 75 %), presento mejor aprovechamiento del agua aplicada logrando producir 13,82 kg/m<sup>3</sup>, por lo tanto estos tres tratamientos fueron los que mejor aprovecharon el agua total (Riego + Pe), para generar un mayor peso del producto cosechado por unidad de agua.

Mamani (2015), en correspondencia aplicando láminas de riego obtuvo para la variedad Waycha una productividad del agua que oscila entre 10,9 a 13,7 kg/m<sup>3</sup>.

Oweis (2012), menciona que la productividad del agua para el cultivo de papa, superiores a 7 kg/m<sup>3</sup>, ya representa una buena productividad. Se puede afirmar que la productividad del agua alcanzada es óptima y que es atribuible al agua aplicada en las fases críticas del cultivo.

### 6.8.2. Índice de eficiencia de uso del agua (IEUA)

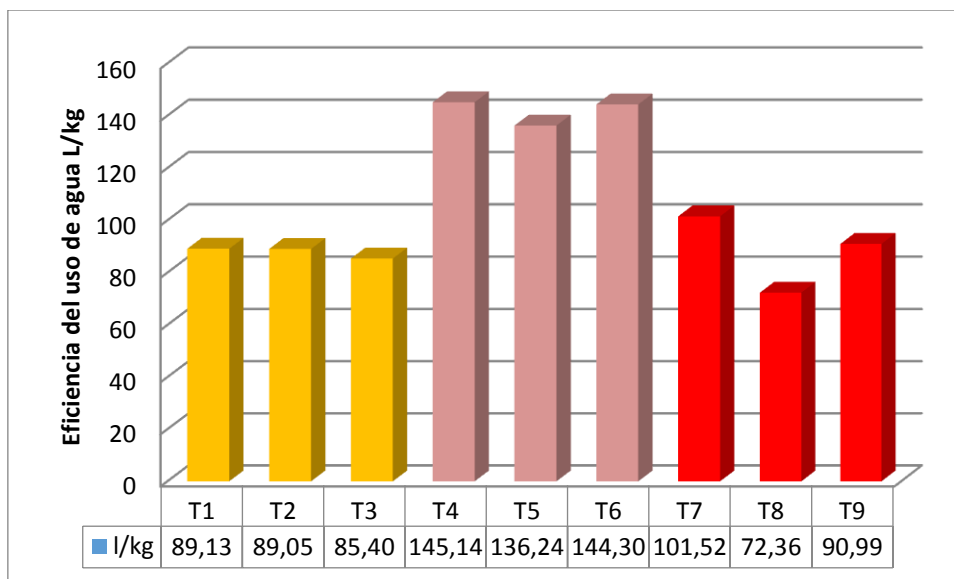
El Índice de Eficiencia de Uso del Agua (IEUA), se determinó en base al rendimiento y el agua total aplicada (Pe + Riego).

**Cuadro 24.** Índice de eficiencia del uso de agua

Tratamientos	Niveles de riego	Volumen de agua aplicada m <sup>3</sup> /ha	Rendimiento kg/ha	Índice de eficiencia de uso del agua (IEUA)	
				kg/m <sup>3</sup>	l/kg
T1	100%	5078	57000	11,22	89,13
T2	75%	4630,6	52000	11,23	89,05
T3	50%	4184	49000	11,71	85,40
T4	100%	5078	35000	6,89	145,14
T5	75%	4630,6	34000	7,34	136,24
T6	50%	4184	29000	6,93	144,30
T7	100%	5078	50000	9,85	101,52
T8	75%	4630,6	64000	13,82	72,36
T9	50%	4184	46000	10,99	90,99

En el cuadro 24, se observa que el Índice de eficiencia del uso de agua (IEUA) en el T8 es de 13,82 kg/m<sup>3</sup>, lo que significa que para producir 1 kilogramo de papa (tubérculo fresco), es necesaria la aplicación de 72,36 litros de agua.

En consecuencia el T8 presenta un mayor IEUA, revelando una mayor eficiencia de uso del recurso agua provenientes del riego más la precipitación efectiva (Riego+Pe), de modo que representa un ahorro de agua mayor por unidad de papa producida en peso, en comparación con el resto de los tratamientos.



**Figura 41.** Eficiencia de uso del agua para las diferentes variedades y láminas de riego.

En la figura 41, se observa los valores referente al índice de eficiencia de uso del agua de las distintas variedades y láminas de riego, por consiguiente en la variedad Luk'i el T3 (lamina 50 %), presento un mejor Índice de eficiencia del uso de agua, indicando que para la producción de 1 kilogramo de papa es necesario utilizar 85,40 litros de agua, en la variedad Piño el T5 (lamina 75 %), presento un mejor índice de eficiencia de uso del agua indicando que para la producción de 1 kilogramo de papa es necesario utilizar 136,24 litros de agua y en la variedad Waycha el T8 (lamina 75 %), presento un mejor índice de eficiencia de uso del agua, indicando que para la producción de 1 kilogramo de papa es necesario utilizar 72,36 litros de agua,

En consecuencia estos tres tratamientos presentaron un mayor índice de eficiencia de uso del agua, provenientes del riego más la precipitación efectiva (Riego+Pe), de modo que representa un ahorro de agua mayor por unidad de papa producida en peso, en comparación con el resto de los tratamientos.

En correspondencia, Mamani (2015), obtuvo los siguientes resultados para la variedad waycha en el índice de eficiencia de uso del agua de: 73,0 L/kg, 91,L/kg y 92,6 L/kg.

## 6.9. Análisis de costos de producción

Según Perrin et al. (1988), El ajuste de los rendimientos consiste en reducir los rendimientos de un 5% a un 30%, para que se aproximen a lo que un agricultor podría lograr con la tecnología en una parcela grande. Para el presente trabajo se tomó el 25% de pérdidas, ya que el experimento se llevó a cabo en las mismas condiciones que el agricultor podría cultivarlo, exceptuando el aporte de agua que se tuvo en esta investigación.

**Cuadro 25.** Análisis de costos de producción.

Indicadores económicos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<b>Rendimiento (tn/ha)</b>	57	52	49	35	34	29	50	64	46
<b>Rendimiento ajustado (tn/ha)</b>	42,75	39	36,75	26,25	25,5	21,75	37,5	48	34,5
<b>Rendimiento (@/ha)</b>	3717,4	3546	3195,7	2282,6	2217,4	1891,3	3260,9	4173,9	3000
<b>Precio por @ (Bs)</b>	30	30	30	30	30	30	35	35	35
<b>Beneficios brutos (Bs ha-1)</b>	111522	106380	95871	68478	66522	56730	114131,5	146086,5	105000
<b>Costos de producción (Bs/ha)</b>	19784	18824	17864	20064	19104	18144	23954	22994	22034
<b>Beneficios netos (Bs/ha)</b>	91738	87541	78007	48414	47418	38586	90177,5	123092,5	82966
<b>Beneficio/Costo</b>	<b>5,6</b>	<b>5,7</b>	<b>5,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>	<b>3,1</b>	<b>4,8</b>	<b>6,4</b>	<b>4,8</b>

### 6.9.1. Beneficio bruto

En la cuadro 25. Se muestra el análisis realizado para todos los tratamientos en función a los rendimientos obtenidos y su precio en el mercado para cada uno, se tiene mayores beneficios brutos en los tratamientos, T1 (Variedad Luk'i \* L1 100%), tuvo un beneficio de 111522 Bs/ha, T4 (Variedad Phiñu \* L1 100%) obtuvo un beneficio de 68478 Bs/ha y T8 (Variedad Waycha \* L2 75%), mayor beneficio bruto con 146086,5 Bs/ha a comparación de los otros tratamientos de la misma variedad

### **6.9.2. Beneficio neto**

La estimación de los beneficios netos presentes en la cuadro 25. Se observa que los tratamientos T1 (Variedad Luk'i \* L1 100%) - T1 (Variedad Phiñu \* L1 100%) y T8 (Variedad Waycha \* L2 75%), obtuvieron un mayor beneficio neto al resto de los otros tratamientos.

### **6.9.3. Relación beneficio costo**

En cuanto a la relación beneficio/costo (B/C), en la cuadro 25. se observa que el tratamiento T2 - T1 (Variedad Luk'i \* L2 75% - L1 100%) es más rentable económicamente con un valor de 5,7 - 5,6 Bs es decir que por cada boliviano invertido, se recupera ese boliviano y se tiene una ganancia de 4,7 - 4,6 Bs, de la mismas forma se observa que el T5 ( Variedad Phiñu \* L2 75 %) es más rentable económicamente con 2,5 Bs y T8 (Variedad Waycha \* L2 75%) es más rentable con 5,4 Bs, de igual forma los otros tratamientos son rentables ya que la relación beneficio costo son mayores a uno.

Según los resultados obtenidos del indicador beneficio/costo, se ratifica que el aplicar el riego proporciona mayor rentabilidad debido al elevado rendimiento de tubérculos y al buen manejo de cultivo en condiciones experimentales.



## 7. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos, en las evaluaciones de: efecto de tres las láminas de riego en el comportamiento de tres variedades de papa, Estrés hídrico de tres variedades de papa. Los costos parciales de las tres variedades de papa en función al Riego Deficitario Controlado, se tiene las siguientes conclusiones:

En el análisis de varianza para la variable altura de planta se determinó que existen diferencias significativas entre las variedades (factor A), en la cual la variedad Waycha presentó un mayor crecimiento en promedio con 39,78 cm de altura, en cuanto las láminas (factor B) no existen diferencias significativas.

En el análisis de varianza para variable número de hojas por planta se determinó que no existen diferencias significativas entre las variedades (factor A) y láminas de riego (factor B).

En el análisis de varianza para número de tubérculos por planta de se determinó que existen diferencias significativas entre las variedades (factor A), en la cual la variedad que presento un mayor número de tubérculos en promedio fue la Luk'i con 22,33 unidades de papa, en cuanto las láminas (factor B) no existe diferencias significativos.

En el rendimiento de tres variedades de papa con la aplicación de niveles de riego el T8 (variedad Waycha \* Lámina 75%), presenta mayor rendimiento con 64 tn/ha, T1 (Variedad Luk'i \* Lámina 100%) presenta un rendimiento de 57 tn/ha y T4 (Variedad Phiñu \* Lámina 75%) tiene un rendimiento de 34 tn/ha.

Obtenido los resultados de estrés hídrico de tres variedades de papa: Luk'i, Phiñu y Waycha con la aplicación de tres niveles de riego se observó que no hay mucha diferencias significativas entre el estrés hídrico de la planta.

En la evaluación de la productividad del agua de las distintas variedades y láminas de riego, la variedad Luk'i - lámina 50 % (T3), presento un mejor aprovechamiento

del agua aplicada logrando producir  $11,71 \text{ kg/m}^3$ , en la variedad Phiño - lámina 75 % (T5), fue el que presentó un mejor aprovechamiento del agua aplicada logrando producir  $7,34 \text{ kg/m}^3$  y en la variedad Waycha - lámina 75 % (T8), presentó mejor aprovechamiento del agua aplicada logrando producir  $13,82 \text{ kg/m}^3$ , por lo tanto estos tres tratamientos fueron los que mejor aprovecharon el agua total (Riego + Pe), para generar un mayor peso del producto cosechado por unidad de agua.

En relación de beneficio / costo T2 - T1 (Variedad Luk'i \* L2 75% - L1 100%), son más rentables 4,7 - 4,6, (Variedad Phiño \* L2 75 %), es más rentable económicamente con 2,5 y T8 (Variedad Waycha \* L2 75%), es más rentable con 5,4 con los tratamientos mencionados se puede obtenerse buena rentabilidad.

## **8. RECOMENDACIONES**

Conforme a los resultados logrados en la producción de papa bajo riego deficitario, se sugiere lo siguiente:

De acuerdo al rendimiento se recomienda aplicar una lámina del 75%, para obtener una buena producción y por lo tanto se generaría un ahorro el agua.

Realizar más estudios e investigaciones de riego deficitario en otros cultivos, de esta manera se podrá contribuir al uso racional y eficiente de recurso agua que está siendo cada vez más afectado por el cambio climático.

Para mejorar el rendimiento de papa, se sugiere el manejo adecuado y oportuno del cultivo, tanto en las labores culturales como en los controles fitosanitarios ya que de estos factores depende el éxito o fracaso del cultivo

Se sugiere impulsar y mejorar la sensibilización, sobre el uso eficiente del agua, a productores y consumidores de papa.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

ALDABE, L. y DOGLIOTTI, S. (2006). Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*. (1995). 7/8:86-93.

ALLEN *ET AL.*, (2006). Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)

ALVAREZ, J. R. (1985). *Curso de Riego y Drenaje* ed. MACA-IICA. Oruro-Bolivia. p 5 - 11.

AGRUCO (2001). *El Centro Regional Ayllu Majasa Mujlli y El cultivo de papa y el cambio climático*

BENIOT, G. y GRANT, W. (1985). Excess and deficient water stress effect on 30 years of aroostook country potatoes yields. *American Potato Journal*. 62(2): 49-55.

BADILLO, MF; VALDERA, F; BODAS, V; FUENTELESAZ, F; PEITEADO, C. (2009). *Manual de buenas prácticas de riego: propuestas de WWF para un uso eficiente del agua en la agricultura*. Amaya asiain. Madrid, España. 36 p.

BARCELÓ *ET AL.*, (1987); TURNER, (1981). Potencial hídrico de la hoja.

CENTA. (2002). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. *Guía técnica cultivo de la papa*. (en línea). Consultado 18 nov. 2012. Disponible en: <http://www.centa.gob.sv/documentos/guias/papa.pdf>.

CEPA (Centro de Ecología y Pueblos Andinos), (2008). *La Papa Aporte de los Andes a la Alimentación Mundial*, Oruro – Bolivia. 223 p.

CISNEROS, F. (1988). Estrategias de control de las polillas de la papa, dentro de un esquema de control integrado. *Curso internacional: Manejo integrado de las palomillas (Lepidóptera: Gelechiidae) de la papa*. ICA-CIP. Bogotá, Col. 131 p.

CISNEROS, R. (2003). *Apuntes de riego y drenaje*. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosi. México. 77 p.

CITRA (Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología). (2010). Programación y optimización del uso del agua de riego: Infiltración del agua en el suelo. Talca, Chile. p. 2-5

CONTRERAS, M. (2009). Ecofisiología del rendimiento de la planta de papa. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile. (en línea). Consultado 5 feb. 2011. Disponible en: <http://www.argenpapa.com.ar/default.asp?id=679>.

COPOULOS, T.M. ARIAS, S. Y ÁVILA, H. (2008). Manual de Producción de la papa.

CRESPO, F. 2003. Características del sub sector papero en Bolivia. La Paz – Bolivia. 61 p. CA- Honduras, EDA, La Lima-Perú (Oficinas de la FHIA). 8p.

DOORENBOS, J. Y PRUITT, W. O. (1977). Las necesidades de agua de los cultivos. FAO Estudio Riego y Drenaje N° 24, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 144 p.

EKANAYAKE, IJ. (1994). El estrés por sequía y las necesidades de riego de la papa. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 38 p.

FAO.; (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. La papa y los recursos hídricos. (en línea). Roma – Italia. Consultado 10 ago. 2016. Disponible en: <http://www.potato2008.org/pdf/IYP-10es>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2003). Descubrir el potencial del agua para la agricultura. Roma, Italia. p. 23-26

FUENTES, Y. J. (1998). Técnicas de Riego. 3ra edición, Editorial Mundi Prensa. España. 471 p.

GOMEZ, P. (2013). Evaluación de Tres Variedades Nativas de Papa (*Solanum Tuberosum* L. ssp. Andigena) Para la Obtención de Papa “Gourmet” Mediante Reproducción Sexual y Asexual en Quipaquipani, Provincia Ingavi La Paz. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 90 p.

GUROVICH, L. (1999). Riego superficial tecnificado. 2da. ed. Ediciones Universidad Católica de Chile de la pontifica Universidad Católica de Chile. Colombia. 329 p.

GONZÁLEZ, F; HERRERA, J; LÓPEZ, T. (2010). Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur da la Habana. Ciencias técnicas agropecuarias, 19(1): p. 65-72

GUROVICH, L. (1985). Fundamentos y diseño de sistemas de riego. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (CIIA). San José, Costa Rica. 433 p.

GUERRA, R. (2012). Acumulación de Nitrógeno en el Cultivo de Papa (*Solanum Tuberosum*) en Asociación con Tarwi (*Lupinus Mutabilis*) en La Comunidad de Patarani Provincia - Aroma. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 122 p.

CHIPANA, R. (2003). Principios de Riego y Drenaje. IRTEC. Universidad Mayor de SanAndrés. Facultad de Agronomía. La Paz.

CHILÓN, E. (1996). Manual de edafología: Practicas de campo y laboratorio. 1ra, ed. Ed. CIDAT, UMSA. La Paz, Bolivia. 290 p.

CHIPANA, R. (1996). Principios de Riego y Drenaje. IRTEC. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 55-88 pp.

CHIPANA, R. (2003). Principios de riego y drenaje. IRTEC. La Paz – Bolivia. 202 p.

HIJMANS, RJ; CONDORI, B; CARILLO, R; KROPFF, MJ. (2003). A Quantitative and Constraint-Specific Method to Assess the Potential Impact of New Agricultural Technology: The Case of Frost Resistant Potato for the Altiplano (Peru and Bolivia). *Agricultural Systems* 76 (3): 895-911.

HUAMÁN, Z.; (2000). Botánica Sistemática y Morfología de la papa. CIP, Lima Perú,

HIJMANS, RJ; CONDORI, B; CARILLO, R; KROPFF, MJ. (2003). A Quantitative and Constraint-Specific Method to Assess the Potential Impact of New Agricultural

Technology: The Case of Frost Resistant Potato for the Altiplano (Peru and Bolivia). *Agricultural Systems* 76 (3): 895-911.

IBCE (Instituto Boliviano de Comercio Exterior). (2012). *Cifras, Papa en Bolivia*. Boletín bisemanal. n° 141. Alimentación Mundial, Oruro – Bolivia. 223 p.

JARA, J. (1999). Relaciones agua, planta, producción. En: *Jornadas de extensión agrícola*. Universidad Católica de Temuco. Chile. p. 30-34

KRAMER (1974), CITADO POR SAN MARTIN Y ACEVEDO, (2001), Índice de estrés hídrico del cultivo MAMANI Y CÉSPEDES, 2012. *Experimental Choquenaira*, Universidad Mayor de San Andrés

KRAMER, P. J. (1983). *Relaciones Hídricas del suelo y planta*. Una síntesis moderna, traducida de inglés por Leonar Tejada. Edutex S. A. México. 539 p.

MITCHELL, PD; JERIE, PH and CHALMERS, DJ. (1984). *Effectos of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield*. *J. Americ. Soc. Hort. Sci* 109(5): p. 604 – 606

MITCHELL, PD; JERIE, PH and CHALMERS, DJ. (1984). *Effectos of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield*. *J. Americ. Soc. Hort. Sci* 109(5): p. 604 – 606  
FAO 2002. *Deficit irrigation practices*. *Water reports* n° 22. 102 p.

MÉNDEZ, P.; INOSTROZA, J. (2009). *Manual de papa para la Araucanía: Manejo de cultivo, enfermedades y almacenaje*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Carillanca. Temuco. Chile. p. 57

MARINO, E.; (2010). *Efecto de Biofertilizantes Caseros y Elaborados, Aplicados al Cultivo de La Papa (Solanum Tuberosum L.) en la Comunidad de Cañacota Cochabamba*. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 75 p.

MORENO, LP. (2009). *Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico*. Universidad Nacional de Colombia. *Agronomía Colombiana* 27(2): 179-191

- MIRANDA, C., R., (2004). Introducción a la geología agrícola. La Paz – Bolivia. 29 p.
- PROINPA, (1989). Caralogo de cien variedades nativas Cochabamba - Bolivia.
- PRONAR (Programa Nacional del Riego), (2002). Evaluación de los sistemas de riego: Causas y efectos, investigación aplicada. Cochabamba, Bolivia. p. 32-96.
- PRONAR (Programa Nacional del Riego), (2005). Proyecto de riego La Paz. Bolivia. p. 40-47
- PROINPA, (1998). Promoción Investigación de Productos Andinos. Programa de Investigación de la Papa, Informe Compendio del Programa de Investigación de la Papa. Documento de Trabajo 9/95. Cochabamba - Bolivia.
- PATTY, S. (2009). Determinación del Nivel Crítico del Agua del Suelo Para el Desarrollo del Cultivo de Papa (*Solanum Tuberosum* L.) Mediante el Uso de Técnicas Nucleares. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 111 p.
- PARDAVÉ, C. (2004). Cultivo y comercialización del cultivo de papa. ed. Palomino. Lima, Perú. 133 p.
- PACHECO, J; PÉREZ A. (2010). Evaluación del manejo del riego de la papa en la empresa de cultivos varios “Valle del Yabú”. Santa Clara, Cuba. Ciencias técnicas agropecuarias 19(3): 47-52
- PINAYA, W. (2013). Producción de Semilla Pre-Básica de Tres Variedades de Papa Con la Aplicación de Dos Niveles de Fertilización Bajo Ambiente Atemperado en El Centro Experimental Quipaquipani, Viacha. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 91 p.}
- QUIROGA, J.; (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,



SERRANO, (2000). Programación de riego de Ingeniería del Riego y Drenaje. La Paz, Bolivia.

SÁNCHEZ-BLANCO, M; TORRECILLAS, A. (1995). Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de Riego deficitario controlado en cultivos leñosos. ZAPATA, M. y SEGURA, P., Riego Deficitario Controlado. Mundi prensa. Madrid. p. 50-55

SORBY, (1973); COBLENTZ, (1912); SHULL (1929), CITADOS POR CARTER (2001). Índice de estrés hídrico.

SÁNCHEZ, C. (2005). Sistemas de riego: Uso, manejo e instalación. Colección granja y negocios. Ripalme. Lima, Perú. 134 p.

SÁNCHEZ, C. (2003). Cultivo y comercialización de la papa. Colección granja y negocios. Ripalme. Lima, Perú. p. 75-76

SERRANO, G. (2010). Ingeniería del Riego y Drenaje. La Paz, Bolivia. 246 p.

SELLÉS, V.G.; FERREYRA, E.R. Y MALDONADO, B.P., (2002). Instrumento para controlar el riego midiendo el estado hídrico de las plantas. INIA 1-7.

SIERRA, C. (2005). Fertilización de la papa. (En línea) Chile. Consultado 15 de noviembre de (2016). Disponible en [www.elsitioagricola.com/articulos/sierra\\_fertilizacion](http://www.elsitioagricola.com/articulos/sierra_fertilizacion).

SCHOLANDER, P.F.; H.T. HAMMEL, E.A.; HEMMINGSEN, E.D., (1964). Bradstreet. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 52: 119-125.

TARJUELO, J. (2005). El riego por aspersión y su tecnología. 3ra edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 581p.

TAPIA, M. y FRIES, A. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. FAO y ANPE. Lima. 209 p.

UNA, (2005). Universidad Nacional Agraria. Selección y Calibración de Indicadores Locales y Técnico para Evaluar la Degradación de los Suelos Laderas, en la Microcuenca Cuscamá El Tuma - La Dalia Matagalpa, (2005). Managua Nicaragua. (En Línea). Consultado 24 de Junio (2017). Disponible En: [www.repositorio.una.edu.ni](http://www.repositorio.una.edu.ni)

ZEBALLOS H., BALDERRAMA F., CONDORI B. Y BLAJOS J. (2009). Economía de la papa en Bolivia (1998-2007). Ed. Live Graphics. Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. Boletín de Información, Técnica Nro. 6. 22 p.

## 10. ANEXOS

### Anexo 1. Promedio de número de hojas de las tres variedades

VARIEDAD	LAMINAS	BI	BII	BIII	PROMEDIO
Luk'i	100%	25	23	22	23
	75%	19	24	23	22
Phiñu	50%	21	25	21	22
	100%	24	23	21	23
	75%	26	21	21	23
Waycha	50%	22	22	22	22
	100%	21	19	19	20
	75%	27	22	20	23
	50%	23	20	19	21

### Anexo 2. Promedio de altura de papa de las tres variedades de papa

VARIEDAD	LAMINAS	BI	BII	BIII	PROMEDIO
Luk'i	100%	14,8	27,8	32,9	25,2
	75%	15,0	20,1	29,1	21,4
Phiñu	50%	19,2	39,1	30,0	29,4
	100%	22,1	26,5	36,1	28,2
	75%	30,9	24,4	35,9	30,4
Waycha	50%	32,6	32,4	33,4	32,8
	100%	32,4	39,3	38,7	36,8
	75%	38,8	40,0	42,9	40,6
	50%	38,9	40,2	36,6	38,6

### Anexo 3. Promedio de número de tubérculos por planta de las tres variedades

VARIEDAD	LAMINAS	BI	BII	BIII	PROMEDIO
Luk'i	100%	25	26	19	23
	75%	18	21	16	18
Phiñu	50%	25	28	22	25
	100%	16	11	17	15
	75%	24	13	19	19
Waycha	50%	22	24	28	25
	100%	10	13	16	13
	75%	14	19	18	17
	50%	15	10	14	13

**Anexo 4.** Promedio de rendimiento tn/ha de las tres variedades papa

<b>VARIEDAD</b>	<b>LAMINAS</b>	<b>BI</b>	<b>BII</b>	<b>BIII</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Luk'i</b>	100%	50	66	54	57
	75%	38	66	52	52
<b>Phiñu</b>	50%	36	64	48	49
	100%	40	36	30	35
	75%	35	26	41	34
<b>Waycha</b>	50%	24	29	33	29
	100%	44	44	62	50
	75%	48	54	90	64
	50%	40	46	52	46

**Anexo 5.** Promedio de humedad FDR (Diviner)

<b>Humedad del suelo</b>	<b>15-ene</b>	<b>30-ene</b>	<b>14-feb</b>	<b>28-feb</b>	<b>15-mar</b>	<b>30-mar</b>	<b>14-abr</b>	<b>29-abr</b>	<b>30-abr</b>
<b>L1</b>	27,20	25,36	25,60	25,50	23,40	28,84	30,11	28,19	25,22
<b>L2</b>	27,09	25,20	25,1	26,10	22,92	27,19	28,36	27,59	26,59
<b>L3</b>	25,4	23,92	25,2	22,9	22,04	26,73	28,14	23,74	21,17

**Anexo 6.** Costos de producción del cultivo de papa Variedad Waycha por hectárea.

Cultivo:	Papa	Dpto. Provincia:	La Paz Ingavi	Estación E. Choquenaira
Variedad :	Waycha	Rendimiento:	T8 - L2 - 75%	tn/ha
Periodo vegetativo	6 Meses			
Densidad:	0,60m * 0,50			
<b>Concepto</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad por (ha)</b>	<b>Precio Unitario (Bs)</b>	<b>costo total</b>
<b>Preparación de terreno</b>				
Aplicación de fertilizantes	Jornal	8	80	640
Riego	Jornal	6	90	
Roturado	Tractor/hora	9	100	900
Rastrado	tractor/hora	7,7	100	770
Nivelado	tractor/hora	5	80	500
<b>Siembra</b>				
Surcado	tractor/hora	5	100	500
Siembra	Jornal	25	60	1500
Insumos				
Semilla de tubérculo	Quintales	28	280	7840
Abono orgánico	Kilo	8000	0,2	1600
Plaguicida (tres aplicaciones)	Cc	480	0,8	384
<b>Labores culturales</b>				
Riego	Jornal	65	60	<b>1980</b>
Deshierbe	Jornal	20	50	1000
Aporque	Jornal	18	70	1260
Aplicación insecticida	Jornal	4	70	280
<b>Cosecha y poscosecha</b>				
Cosecha	Jornal	30	80	2400
Selección	Jornal	10	60	480
<b>COSTO TOTAL POR HECTAREA (Bs)</b>	<b>BOLIVIANOS</b>			<b>22034</b>

**Anexo 7.** Costos de producción del cultivo de papa Variedad Luk'i por hectárea.

Cultivo:	Papa	Dpto. Provincia:	La Paz Ingavi	Estación E. Choquenaira
Variedad:	Luk'i	Rendimiento:	T1 - L1 - 100%	tn/ha
Periodo vegetativo	6 meses			
Densidad:	0,60m * 0,50			
Concepto	Unidad de Medida	Cantidad por (ha)	Precio Unitario (Bs)	costo total
<b>Preparación de terreno</b>				
Aplicación de fertilizantes	Jornal	8	80	640
Riego	Jornal	6	90	
Roturado	tractor/hora	9	100	900
Rastrado	tractor/hora	7,7	100	770
Nivelado	tractor/hora	5	80	500
<b>Siembra</b>				
Surcado	tractor/hora	5	100	500
Siembra	Jornal	25	60	1500
Insumos				
Semilla de tubérculo	Quintales	28	140	3920
Abono orgánico	Kilo	8000	0,2	1600
Plaguicida (tres aplicaciones)	Cc	480	0,8	384
<b>Labores culturales</b>				
Riego	Jornal	65	60	1980
Deshierbe	Jornal	15	50	750
Aporque	Jornal	18	70	1260
Aplicación insecticida	Jornal	4	70	280
<b>Cosecha y poscosecha</b>				
Cosecha	Jornal	30	80	2400
Selección	Jornal	10	60	480
<b>COATO TOTAL POR HECTAREA</b>	<b>BOLIVIANOS</b>			<b>17864</b>

**Anexo 8.** Costos de producción del cultivo de papa Variedad Phiñu por hectárea.

Cultivo:	Papa	Dpto.:	La Paz	Estación E.
Variedad:	Phiñu	Provincia:	Ingavi	Choquenairia
Periodo vegetativo:	6 meses	Rendimiento:	T4 - L1 - 100%	tn/ha
Densidad:	0,60m * 0,50			
Concepto	Unidad de Medida	Cantidad por (ha)	Precio Unitario (Bs)	costo total
<b>Preparación de terreno</b>				
Aplicación de fertilizantes	jornal	8	80	640
Riego	jornal	6	90	
Roturado	tractor/hora	9	100	900
Rastrado	tractor/hora	7,7	100	770
Nivelado	tractor/hora	5	80	500
<b>Siembra</b>				
Surcado	tractor/hora	5	100	500
Siembra	jornal	25	60	1500
Insumos				
Semilla de tubérculo	Quintal	28	160	1260
Abono orgánico	Kilo	8000	0,2	1600
Plaguicida (tres aplicaciones)	cc	480	0,8	384
<b>Labores culturales</b>				
Riego	Jornal	65	60	3120
Deshierbe	jornal	15	50	750
Aporque	jornal	18	70	1260
Aplicación insecticida	jornal	4	70	280
<b>Cosecha y poscosecha</b>				
Cosecha	jornal	30	80	2400
Selección	jornal	10	60	480
<b>COSTO TOTAL POR HECTAREA</b>	<b>BOLIVIANOS</b>			<b>16344</b>

## Anexo 9. Análisis físico químico de suelo



### MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO : *PROY ; PROGRAMACION DE RIEGO DEFICITARIO* NO SOLICITUD: *114A / 2017*  
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,* FECHA DE RECEPCION : *19 / Junio / 2017*  
*Provincia: INGAVI* FECHA DE ENTREGA : *14 / Julio / 2017*  
*Comunidad : CHOQUENAIRA*

### ESTACION EXPERIMENTAL DE CHOQUENAIRA

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : PARCELA 1 ; Fabiola Figueredi F.*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método	
336-01 /2017	T E X T U R A	ARENA	28	%	Hidrómetro de Bouyoucos
336-02 /2017		ARCILLA	36	%	Hidrómetro de Bouyoucos
336-03 /2017		LIMO	36	%	Hidrómetro de Bouyoucos
336-04 /2017		CLASE TEXTURAL	FY	-	Hidrómetro de Bouyoucos
336-05 /2017		GRAVA	0,0	%	Gravimetría
336-06 /2017	CARBONATOS LIBRES	P	-	Reacción ácida	
336-07 /2017	pH en agua 1:5	6,65	-	Potenciometría	
336-08 /2017	pH en KCl 1:5	4,83	-	Potenciometría	
336-09 /2017	Conductividad eléctrica en agua, 1:5	0,183	dS/m	Conductancia	
336-10 /2017	C A C I D M O E B N I O S	Acidez de cambio (Al + H)	0,14	meq/100 g	Volumetría
336-11 /2017		Calcio	9,45	meq/100 g	Absorción atómica
336-12 /2017		Magnesio	2,04	meq/100 g	Absorción atómica
336-13 /2017		Sodio	0,27	meq/100 g	Emisión atómica
336-14 /2017		Potasio	1,66	meq/100 g	Emisión atómica
336-15 /2017	Suma de Bases	13,42	meq/100 g	Suma de bases	
336-16 /2017	Capacidad de Intercambio Catiónico	13,56	meq/100 g	Volumetría	
336-17 /2017	% de Saturación	99,0	%	Cálculo numérico	
336-18 /2017	Materia orgánica	2,38	%	Walkley Black	
336-19 /2017	Nitrógeno total	0,15	%	Kjeldahl	
336-20 /2017	Fósforo asimilable	35,95	ppm	Espectrofotometría UV-Visible	

OBSERVACIONES,- \*\* Cationes de Cambio extraídos con Acetato de amonio 1 N.  
C.I.C. Capacidad de Intercambio Catiónico.  
CARBONATOS LIBRES; A: Ausente, P: Presente, PP: Presente en gran cantidad

#### CLASE TEXTURAL

F : Franco Y : Arcilloso FA : Franco Arenoso. YL : Arcilloso Limoso  
L : Limoso YA : Arcilloso Arenoso AF : Arenosos Franco FYL : Franco Arcilloso Limoso  
A : Arenoso FYA : Franco Arcilloso Arenoso FY : Franco Arcilloso FL : Franco limoso



*[Signature]*

RESPONSABLE DE LABORATORIO

JORGE CHUNGARA C.

Of. Av. 6 de Agosto 2995, Telf.: 2433481 - 2430309 - 24332877 - 2128383 Fax: (0591-2) 2433063, La Paz - Bolivia Casilla 4821, Telf.-2800095 CIN-Viacha, E-mail: joren@enteinet.bo \* Página Web: www.ibten.gob.bo



## Anexo 10. Analisis quimico de agua



### MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : *PROY. PROGRAMACION DE RIEGO DEFICITARIO*  
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*  
*Provincia INGAVI*  
*ESTACION EXPERIMENTAL CHOQUENAIRA*

Nº SOLICITUD: *120 / 2017*  
FECHA DE RECEPCION : *28 / Junio / 2017*  
FECHA DE ENTREGA : *26 / Julio / 2017*

FA

PRODUCTO : *MUESTRA DE AGUA; Municipio de Viacha*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
361-01 2017	pH	8,80	-	Potenciometría
361-02 2017	Conductividad eléctrica	277,00	µS/cm	Conductancia
361-03 2017	Sodio	29,56	mg / L	Flamometría
361-04 2017	Potasio	8,53	mg / L	Flamometría
361-05 2017	Calcio	16,13	mg / L	Absorción atómica
361-06 2017	Magnesio	4,71	mg / L	Absorción atómica
361-07 2017	Cloruros	9,50	mg / L	Método argentométrico
361-08 2017	Carbonatos	38,25	mg / L	Volumetría
361-09 2017	Bicarbonatos	0,00	mg / L	Volumetría
361-10 2017	Sulfatos	51,45	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
361-11 2017	Sólidos Suspendidos	6,00	mg / L	Gravimétrico
361-12 2017	Sólidos Totales	70,46	mg / L	Gravimétrico
361-13 2017	Sólidos Disueltos	62,55	mg / L	Gravimétrico
361-14 2017	Boro	0,70	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHUNGARA C.

**Anexo 11. Aporque**



**Anexo 12. Toma de dato Scholander**



**Anexo 13. Toma de dato Diviner (FDR)**



**Anexo 14.** Fumigación de parcela



**Anexo 15.** Riego a la parcela



**Anexo 16.** Toma de dato del peso



**Anexo 17.** Cosecha de la parcela

