

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



**EVALUACIÓN DE CANTIDAD Y CALIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS Y SU
PROYECCIÓN EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL PATACAMAYA**

PRESENTADO POR:

JUVENAL CHOQUE CHURA

La Paz - Bolivia

2020

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

**EVALUACIÓN DE CANTIDAD Y CALIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS Y SU
PROYECCIÓN EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTA PATACAMAYA**

*Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo*

JUVENAL CHOQUE CHURA

Asesores (es):

Ing. Rolando Céspedes Paredes

Ing. David Erick Ramirez Ochoa

Tribunal Examinador:

Ph D. René Chipana Rivera

Ing. MSc. Fanny Bertha Arragan Tancara

Ing. MSc. Genaro Serrano Coronel

Aprobado

Presidente tribunal Examinador

LA PAZ – BOLIVIA

2020

DEDICATORIA



A Dios por haberme dado el regalo más grande “la vida”, quien me ha guiado en el trayecto del saber y el conocimiento, para seguir adelante en el camino de la vida profesional.



A mis padres Ignacia Chura Yujra y Severo Choque Farfán, quienes con mucho esfuerzo y sacrificio supieron brindarme su apoyo incondicional en todo momento para lograr los objetivos y llegar a la meta.



A mis hermanos y hermanas Richard, Franklin, William, Marizol, Carolin y a sus familias de mis hermanos, con quienes compartí momentos de felicidad y tristeza.

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro Padre Celestial por su eterno amor y misericordia, quien siempre me dio fuerza y valor espiritual para concluir este trabajo.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía – Carrera Ingeniería Agronómica, por la formación profesional impartida por los docentes.

A la Estación Experimental Patacamaya, por haberme brindado sus ambientes y los insumos logísticos necesarios para la realización del trabajo de investigación.

A la Escuela de Riego de Agronomía (E.R.A), dependientes de la Facultad de Agronomía, por haberme brindado el apoyo incondicional en realizar el presente trabajo de investigación.

A mis asesores Ing. Rolando Céspedes Paredes, Ing. David Erick Ramírez Ochoa por el asesoramiento, colaboración con su experiencia profesional y la confianza brindada para que este trabajo se realice de la mejor manera posible.

Agradecer al Ing. Adrián Ramos Paye por el apoyo, guía y sugerencias, en realizar el presente trabajo de investigación.

A los tribunales revisores: Ing. Ph. D. Rene Chipana Rivera, Ing. MSc. Fanny Bertha Arragan Tancara e Ing. MSc. Genaro Serrano Coronel, el tiempo dedicado a la revisión del trabajo de investigación, por las correcciones y sugerencias realizadas para que este trabajo de investigación se concluya satisfactoriamente.

Finalmente, a mis padres (Ignacia Chura Yujra y Severo Choque Farfán) y hermanos (Richard, Franklin, William, Felix, Marizol y Carolin) por el apoyo y paciencia que me brindaron durante el tiempo de la carrera y en la realización de la presente investigación.

A todas aquellas personas que me colaboraron y me apoyaron incondicionalmente que no mencione, mil gracias!!!.

INDICE GENERAL

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUCCION	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISION BIBLIOGRAFICA.....	4
3.1 Ciclo hidrológico	4
3.2 Recursos hídricos.....	4
3.3 Recursos hídricos subterráneos.....	5
3.3.1 Importancia del agua subterránea.....	5
3.3.2 Recarga.....	5
3.3.2.1 Tipos de recarga	6
3.3.3 Acuífero	6
3.3.4 Tipos de acuíferos	7
3.3.4.1 Acuífero libre o freático.....	7
3.3.4.2 Acuíferos confinados o cautivos.....	8
3.3.4.2 Acuíferos semiconfinados	9
3.3.5 Volumen de agua en un acuífero	9
3.3.6 Características de los acuíferos	9
3.3.7 Abatimiento de pozos.....	9
3.3.7.1 Nivel Estático.....	10
3.3.7.2 Nivel Dinámico	10
3.4 Calidad de agua para riego	10
3.4.1 Selección de parámetros.....	11
3.4.1.1 Parámetros físicos.....	11
a) Color	11
b) Turbidez y sedimentación	11
c) Olor y sabor.....	12
d) Temperatura.....	12
3.4.1.2 Parámetros químicos.....	12

a) pH del agua.....	13
b) Conductividad eléctrica (CE).....	13
c) Sólidos disueltos totales (S.D.T.)	14
3.4.1.3 Contenido de cationes.....	15
a) Sodio.....	15
b) Potasio	15
c) Calcio	16
d) Magnesio.....	16
3.4.1.4 Contenido de aniones.....	17
a) Sulfatos	17
b) Cloruros.....	17
c) Carbonatos y bicarbonatos.....	18
d) Boro	18
3.4.1.5 Riesgo de acumulación de sodio (RAS)	19
3.4.1.6 Porcentaje de Sodio Intercambiable (P.S.I.).....	20
3.4.1.7 Porcentaje de Sodio Soluble (P.S.S.).....	21
3.4.1.8 Normas para la clasificación del agua de riego	21
a) Norma Riverside	21
b) Norma L.V. Wilcox	25
c) Norma H. Greene (F.A.O.)	25
3.4.1.9 Salinidad.....	26
3.4.1.10 Infiltración del agua en el suelo	26
3.4.1.11 Toxicidad	27
3.4.1.12 Dureza del agua	27
3.4.1.13 El verdadero riesgo del agua de riego.....	28
3.5 Evapotranspiración (ET).....	29
3.5.1 Evaporación	29
3.5.2 Transpiración.....	29
3.6 Evapotranspiración de referencia (ET _o).....	30
3.7 Evapotranspiración del cultivo (ET _c)	31
3.8 Coeficiente de cultivo (K _c).....	31
3.9 Índice de escases.....	32

3.10 Balance hídrico.....	32
3.11 Eficiencia del uso de agua de las plantas.....	33
3.12 Demanda de agua para uso agrícola (DUA)	33
3.12.1 Precipitación efectiva.....	33
3.12.2 Cálculo del volumen requerido (Vr)	34
a) Cálculo del volumen cubierto por lluvias (Vc).....	34
3.13 Cálculo de las necesidades de agua del cultivo	35
3.14 Consumo de agua de los animales	37
3.14.1 Consumo de agua de los ovinos	37
4 MATERIALES Y MÉTODOS	40
4.1 Localización.....	40
4.1.1 Ubicación geográfica	40
4.1.2 Topografía	42
4.1.3 Características climáticas.....	42
4.1.3.1 Clima	42
4.1.3.2 Temperatura	42
4.1.3.3 Precipitación pluvial.....	43
4.1.3.4 El Granizo.....	44
4.1.3.5 Heladas	44
4.1.3.6 Sequía	44
4.1.4 Flora y Fauna	44
4.1.4.1 Flora	44
a) Principales especies	45
4.1.4.2 Fauna	45
a). Principales especies	45
4.2. Materiales.....	48
4.2.1 Equipos y materiales de campo	48
4.2.2 Material de gabinete	48
4.3 Metodología.....	49
4.3.1 Cantidad de agua	49
4.3.1.1 Inventario y caracterización de las fuentes de agua.....	49
a) Información general del pozo subterráneo y superficial	49

b) Características de los pozos	51
c) Medición de volúmenes de agua de los pozos.....	52
4.3.2 Calidad de agua	54
4.3.2.1 Toma de muestras de agua.....	54
4.3.3 Proyección agropecuaria.....	54
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
5.1 Comportamiento climatológico	56
5.1.1 Temperatura.....	56
5.1.2. Precipitación.....	56
5.2 Resultados cantidad de agua	57
5.2.1 Oferta de agua del pozo subterráneo.....	57
5.2.1.1 Oferta de agua por día	58
5.2.1.2 Oferta de agua por semana.....	58
5.2.1.3 Oferta de agua por mes.....	58
5.2.2 Pozos superficiales	59
5.2.2.1 Pozo superficial uno	59
a) Evaluación del pozo superficial uno en el primer periodo	59
a.1) Oferta de agua en función del tiempo	62
b) Evaluación del pozo superficial uno en el segundo periodo.....	62
b.1) Oferta de agua en función del tiempo	63
c) Histogramas del pozo superficial uno.....	64
5.2.3.2 Pozo superficial dos	65
a) Evaluación del pozo superficial dos en el primer periodo	65
a.1) Oferta de agua en función del tiempo	67
b) Evaluación de agua del pozo superficial dos en el segundo periodo	67
b.1) oferta de agua en función del tiempo	69
c) Histogramas del pozo superficial dos.....	69
5.3 Oferta de agua	70
5.4 Resultados de calidad del agua	71
5.4.1 Análisis de agua	71
5.4.1.1 Parámetros de primer grado.....	72
a) pH del agua.....	72

b) Conductividad eléctrica (C.E.).....	72
c) Sólidos disueltos totales (S.D.T.)	72
5.4.1.2. Contenido de cationes.....	73
a) Sodio.....	73
b) Potasio	73
c) Calcio	74
d) Magnesio.....	74
5.4.1.3. Contenido de aniones.....	74
a) Sulfatos	74
b) Cloruros.....	75
c) Carbonatos y bicarbonatos.....	75
d) Boro	76
5.4.1.4 Riesgo de acumulación de sodio (RAS).....	76
5.4.1.5 Clasificación por salinidad	77
5.4.1.6 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	77
5.4.1.7. Dureza.....	77
5.5 Requerimiento de agua	78
5.5.1 Balance hídrico de la E. E. Patacamaya	78
5.5.2 Consumo de agua de los animales	79
5.5.2.1 Consumo de agua de los ovinos	79
5.5.2.2 Consumo de agua de los camélidos	79
5.5.2.3 Consumo de agua del personal.....	80
5.5.3 Demanda de agua.....	80
5.5.4 Agua disponible para agropecuario.....	80
5.5.5 Necesidades hídricas de los cultivos.....	81
5.5.5.1 Cultivo de Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	81
5.5.5.2 Cultivo de Avena (<i>Avena sativa</i>)	83
5.5.5.3 Cultivo de Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	84
5.5.5.4 Cultivo de Papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	84
5.5.5.5 Cultivo de Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>).....	86
5.5.5.6 Cultivo de Triticale (<i>xTriticosecale</i>)	87
5.6 Balance de requerimiento de agua para la E.E. Patacamaya	88

5.7 Proyección agropecuaria.....	89
5.7.1 Proyección agropecuaria de ovinos	89
5.7.2 Proyección agropecuaria de camélidos.....	90
5.7.3 Proyección agropecuaria de los cultivos	91
5.7.4 balance de proyección agropecuaria.....	92
6. CONCLUSIONES.....	93
7 RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS	94
8 BIBLIOGRAFIA	95
ANEXOS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Coeficiente de permeabilidad típicos.....	10
<i>Figura 2.</i> Escala de pH.....	13
<i>Figura 3.</i> Calidad del agua en relación a su contenido en Boro	19
<i>Figura 4.</i> Parámetros de riesgo de R.A.S.....	20
<i>Figura 5.</i> Clasificación de agua (P.S.I.)	21
<i>Figura 6.</i> Clasificación de agua de riego según el P.S.S.....	21
<i>Figura 7.</i> Diagrama para la clasificación de las aguas de riego (Según USDA).....	22
<i>Figura 8.</i> Peligro de salinidad en términos de CE (Según USDA).....	23
<i>Figura 9.</i> Peligro de sodificación en términos de RAS (según USDA)	24
<i>Figura 10.</i> Interpretación del agua de riego. (Adaptado de “The Quality fo wáter for Irrigation USE”, U.S.D.A).....	25
<i>Figura 11.</i> Interpretación del agua de riego, (H. Greene, F.A.O).....	26
<i>Figura 12.</i> Iones tóxicos presentes en las aguas	27
<i>Figura 13.</i> Indicativo de valores de dureza.....	28
<i>Figura 14.</i> Duración de etapas de crecimiento de los cultivos y fechas de siembra (días).....	35
<i>Figura 15.</i> Valores del coeficiente del cultivo, Kc y alturas máximas de las plantas ..	36
<i>Figura 16.</i> Rangos de profundidad máxima efectiva de las raíces (Zr) y fracción de agotamiento de la humedad en el suelo (p)	36
<i>Figura 17.</i> Consumo de agua en ovinos de distintas categorías	37
<i>Figura 18.</i> Requerimiento de agua para una oveja	38
<i>Figura 19.</i> Gasto de agua de una persona.....	39
<i>Figura 20.</i> Ubicación geográfica de la Estación Experimental Patacamaya.....	41
<i>Figura 21.</i> Temperatura 2006-2016.....	43
<i>Figura 22.</i> Precipitación 2006-2016.....	43
<i>Figura 23.</i> Especies nativas en la puna húmeda de Patacamaya y sus usos	45
<i>Figura 24.</i> Especies forestal en área urbana.....	45
<i>Figura 25.</i> Principales especies distribuidas en puna húmeda.....	46
<i>Figura 26.</i> Principales especies distribuidas en puna seca	46
<i>Figura 27.</i> Reptiles en el municipio	47

<i>Figura 28.</i> Especies domésticos.....	47
<i>Figura 29.</i> Levantamiento de la información primaria de los pozos subterránea y superficial de la E.E.P.	49
<i>Figura 30.</i> Ubicación de los pozos	50
<i>Figura 31.</i> Ubicación georreferenciada de los pozos	51
<i>Figura 32.</i> Características de los pozos	51
<i>Figura 33.</i> Ubicación de los pozos que ofertan volumen de agua.....	52
<i>Figura 34.</i> Georreferenciación de los pozos que ofertan volúmenes de agua	52
<i>Figura 35.</i> Aforo del caudal	53
<i>Figura 36.</i> Lignímetro en el pozo superficial.....	53
<i>Figura 37.</i> Temperatura máxima, mínima y medias 2018	56
<i>Figura 38.</i> Comportamiento de la precipitación 2018.....	57
<i>Figura 39.</i> Pozo subterráneo y su reservorio circular	57
<i>Figura 40.</i> Características del pozo subterráneo.....	58
<i>Figura 41.</i> Oferta de agua por época	58
<i>Figura 42.</i> Pozo superficial uno	59
<i>Figura 43.</i> Altura de recarga del pozo superficial uno (m).....	60
<i>Figura 44.</i> Altura de recarga de agua del pozo superficial uno	60
<i>Figura 45.</i> Volumen de recarga del pozo superficial uno (m ³).....	61
<i>Figura 46.</i> Volumen de recarga del pozo superficial uno	61
<i>Figura 47.</i> Volumen de agua en el pozo superficial uno.....	62
<i>Figura 48.</i> Altura de recarga del pozo superficial uno (m).....	62
<i>Figura 49.</i> Volumen de recarga del pozo superficial uno (m ³).....	63
<i>Figura 50.</i> Volumen de agua en el pozo superficial uno.....	63
<i>Figura 51.</i> Precipitación vs recarga de agua	64
<i>Figura 52.</i> Precipitación vs volumen de agua.....	64
<i>Figura 53.</i> Pozo superficial dos	65
<i>Figura 54.</i> Recarga de agua del pozo superficial dos (m)	65
<i>Figura 55.</i> Altura de recarga del pozo superficial dos	66
<i>Figura 56.</i> Recarga de volumen del pozo superficial dos (m ³)	66
<i>Figura 57.</i> Volumen de recarga del pozo superficial dos.....	67

<i>Figura 58.</i> Volumen de agua en el pozo superficial dos.....	67
<i>Figura 59.</i> Altura de recarga del pozo superficial dos (m)	68
<i>Figura 60.</i> Volumen de recarga del pozo superficial dos (m ³)	68
<i>Figura 61.</i> Volumen de agua en el pozo superficial dos.....	69
<i>Figura 62.</i> Precipitación vs recarga de agua	69
<i>Figura 63.</i> Precipitación vs volumen de agua.....	70
<i>Figura 64.</i> Oferta de agua por mes de los pozos (m ³ /mes).....	70
<i>Figura 65.</i> Resultados de análisis de agua del laboratorio de IBTEN	71
<i>Figura 66.</i> pH del agua	72
<i>Figura 67.</i> Conductividad eléctrica	72
<i>Figura 68.</i> Sólidos disueltos totales.....	72
<i>Figura 69.</i> Sodio.....	73
<i>Figura 70.</i> Potasio	73
<i>Figura 71.</i> Calcio	74
<i>Figura 72.</i> Magnesio.....	74
<i>Figura 73.</i> Sulfatos	74
<i>Figura 74.</i> Cloruros.....	75
<i>Figura 75.</i> Carbonatos y bicarbonatos	75
<i>Figura 76.</i> Boro.....	76
<i>Figura 77.</i> Conversión de unidades de mg/L a meq/L.....	76
<i>Figura 78.</i> Clasificación por salinidad.....	77
<i>Figura 79.</i> Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	77
<i>Figura 80.</i> Dureza del agua de los pozos.....	78
<i>Figura 81.</i> Balance hídrico de la E.E. Patacamaya	78
<i>Figura 82.</i> Consumo de agua del ganado ovino de la E.E.P.....	79
<i>Figura 83.</i> Consumo de agua de ganado camélido.....	79
<i>Figura 84.</i> Consumo de agua del personal	80
<i>Figura 85.</i> Demanda de agua del personal y animales (m ³ /mes).....	80
<i>Figura 86.</i> Agua disponible para riego a campo abierto (m ³ /mes).....	81
<i>Figura 87.</i> Requerimiento de agua para el cultivo de Alfalfa	81
<i>Figura 88.</i> Requerimiento de agua para el cultivo de Avena.....	83

<i>Figura 89.</i> Requerimiento de riego para el cultivo de Cebada.....	84
<i>Figura 90.</i> Requerimiento de agua para el cultivo de Papa.....	85
<i>Figura 91.</i> Requerimiento de agua para el cultivo de Quinoa	86
<i>Figura 92.</i> Requerimiento de agua para el cultivo de Triticale	87
<i>Figura 93.</i> Oferta de agua de los pozos (m ³).....	88
<i>Figura 94.</i> Demanda de agua de los cultivos con riego (m ³) 2018	88
<i>Figura 95.</i> Balance de requerimiento de agua en la E.E. Patacamaya (m ³).....	89
<i>Figura 96.</i> Proyección agropecuaria de ovinos	89
<i>Figura 97.</i> Requerimiento de agua por gestión	90
<i>Figura 98.</i> Proyección agropecuaria de camélidos.....	90
<i>Figura 99.</i> Requerimiento de agua por gestión	91
<i>Figura 100.</i> proyección agropecuaria de los cultivos.....	91
<i>Figura 101.</i> Oferta y demanda de agua m ³ /año	92

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos climáticos y precipitación efectiva	99
Anexo 2. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de papa	99
Anexo 3. Requerimiento de riego del cultivo de papa	99
Anexo 4. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de cebolla ...	100
Anexo 5. Requerimiento de agua para el cultivo de cebolla.....	100
Anexo 6. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de haba	100
Anexo 7. Requerimiento de agua para el cultivo de haba	101
Anexo 8. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de cebada ..	101
Anexo 9. Requerimiento de agua para el cultivo de cebada	101
Anexo 10. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de avena...	102
Anexo 11. Requerimiento de agua para el cultivo de avena	102
Anexo 12. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de triticale .	102
Anexo 13. requerimiento de agua del cultivo de triticale	103
Anexo 14. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de alfalfa...	103
Anexo 15. Requerimiento de agua para el cultivo de alfalfa	103
Anexo 16. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de quinua..	104
Anexo 17. Requerimiento de agua para el cultivo de quinua	104
Anexo 18. Resultados de análisis de agua del pozo superficial uno	105
Anexo 19. Resultados de análisis de agua del pozo superficial dos	106
Anexo 20. Parcelas con instalación de riego.....	107
Anexo 21. Área con cultivo gestión 2017-2018	107
Anexo 22. Áreas con cultivo gestión 2018-2019	108
Anexo 23. Área con cultivo gestión 2019-2020	108
Anexo 24. Muestra de agua y pozo superficial.....	109
Anexo 25. Pozos superficiales uno y dos.....	109

RESUMEN

El altiplano central del departamento de La Paz, en donde se encuentra la Estación Experimental Patacamaya se caracteriza por las bajas y cortos periodos de precipitación y mayor Evapotranspiración, es por ello que se realiza el presente trabajo de investigación, ya que el recurso hídrico dificulta y limita en la expansión de la frontera agrícola y la ganadería.

La cantidad de agua de la Estación Experimental Patacamaya es muy importante para determinar el uso racional y para realizar la instalación de los métodos de riego, debido a que este recurso es muy trascendental para planificar y proyectar las actividades agricultura y ganadería.

La recarga y volumen de agua está influenciado con la profundidad, zonas de alimentación (zonas de recarga), propiedades física y químicas del suelo. Y en la cual se obtuvo, el volumen total de los pozos subterráneo y superficial de la E.E. Patacamaya en promedio de **2835,6 m³/mes.**

La calidad de agua es un parámetro que determina si es apto para el uso y consumo (agropecuario y humano), en la Estación, debido a que este recurso nos determina si es necesario o no realizar tratamientos de agua, sin embargo, al realizar los análisis químicos se determina que el pozo subterráneo se clasifica como **C2-S1**, apto para el uso agropecuario, mientras que los pozos superficiales uno y dos se clasifican como **C3-S1**, apta para el riego con limitación, tomando en cuenta los parámetros de pH y CE del agua.

Al realizar la proyección agropecuaria, de acuerdo a la oferta y demanda de agua, de los cultivos, ganadería, invernaderos y humanos, dentro de la E.E. Patacamaya se llega a cubrir con riego eficiente una superficie de 4,5 ha. En la proyección agropecuaria con el PDEEP, al incrementar más de cinco hectáreas existe déficit de agua para realizar las actividades dentro de la E.E. Patacamaya.

PALABRAS CLAVES: Recursos hídricos, Agropecuaria, Riego, Agua, Proyección.

ABSTRACT

The central plateau of the department of La Paz, where the Patacamaya Experimental Station is located is characterized by low and short periods of precipitation and increased Evapotranspiration, that is why this research work is carried out, since it is water resources hinder and limit the expansion of the agricultural frontier and livestock.

The amount of water of the Patacamaya Experimental Station is very important to determine the rational use and to carry out the installation of irrigation methods, because this resource is very transcendental to plan and project agricultural activities and Livestock.

Water recharge and volume is influenced by depth, feeding areas (reloading areas), physical and chemical properties of the soil. And in which it was obtained, the total volume of underground and surface wells of the E.E. Patacamaya on average of 2835.6 m³/month.

Water quality is a parameter that determines whether it is suitable for use and consumption (agricultural and human), at the Station, because this resource determines whether or not water treatments are necessary, however, when performing chemical analyses it is determined that the underground well is classified as C2-S1, suitable for agricultural use, while surface wells one and two are classified as C3-S1, suitable for watering with limitation, taking into account the pH and CE parameters of the water.

When carrying out the agricultural projection, according to the supply and demand of water, crops, livestock, greenhouses and humans, within the E.E. Patacamaya is covered with efficient irrigation an area of 4.5 ha. In the agricultural projection with the PDEEP, by increasing more than five hectares there is a water deficit to carry out the activities within the E.E. Patacamaya.

KEYWORDS: Water Resources, Agricultural, Irrigation, Water, Projection.

1 INTRODUCCION

El Altiplano Boliviano (Central) se caracteriza por tener precipitaciones muy variables, épocas en donde las precipitaciones son mayores y mínimas, la cual afecta en los rendimientos de distintos cultivos de la ¹E.E. Patacamaya. Es decir, los Recursos Hídricos van disminuyendo paulatinamente de la superficie del suelo, por efecto del cambio climático que se presenta en todo el mundo.

En el mundo y en nuestro país, los recursos hídricos van adquiriendo mayor importancia social y económica, debido a que en la actualidad y en futuro, estos acuíferos en el altiplano boliviano son y serán, cada vez más escasos y la demanda de este recurso cada vez está en ascenso.

El riego en las tierras agrícolas requiere la utilización de un 70 % de los recursos hídricos en el mundo y en los países en vías de desarrollo, muchas veces el agua utilizada para regadío representa más del 95% del total de usos del agua, y juega un papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos. (Rodríguez & Vara, 2005)

Las fuentes de recursos hídricos presentes en la E.E. Patacamaya son pozos subterráneos y superficiales, las cuales permiten realizar diferentes actividades como ser la agricultura y la ganadería.

El riego adquiere una gran importancia en la E.E. Patacamaya, debido a que se debe asegurar la alimentación para la ganadería y la producción agrícola siendo estas de importancia económica para el desarrollo tanto para la Universidad y las comunidades del municipio de Patacamaya.

En la presente investigación de tesis se realizó el análisis del balance hídrico de diferentes fuentes de agua existentes en la E.E. Patacamaya, análisis de la cantidad y calidad de agua disponible para uso en la planificación eficiente de este recurso.

¹ E.E. Patacamaya: Estación Experimental Patacamaya

Una vez realizados los análisis oportunos se podrá conocer la cantidad y calidad del agua para agricultura y ganadería. Estos son objetivos primordiales antes de la implantación de un sistema de regadío, ya que existen numerosos aspectos que es preciso determinar en función de la calidad del agua, como aquellos relacionados con la elección del sistema de riego o el cultivo a establecer, los componentes de la instalación de riego o el tipo de tratamientos que es preciso realizar al agua para poder regar con ella. (Balairón, 2000).

La proyección agropecuaria nos da un límite de uso racional del agua, para una superficie determinado, de esta forma determinar y programar la instalación de un método de riego dentro de la Estación Experimental Patacamaya.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la cantidad y calidad del recurso hídrico y su proyección en la producción agropecuaria de la Estación Experimental Patacamaya.

2.2 Objetivos específicos

- ❖ Determinar la cantidad de agua para la producción agropecuaria en la Estación Experimental Patacamaya.

- ❖ Determinar la calidad de agua para el uso racional del recurso agua en la producción agropecuaria en la Estación Experimental Patacamaya.

- ❖ Formular una proyección, para el uso adecuado del agua en la producción agropecuaria.

3 REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1 Ciclo hidrológico

Según Vasquez *et al* (2000), el ciclo hidrológico es la sucesión de cambios que sufre el agua en la hidrosfera, y que obedece a leyes físicas. Comienza con la evaporación de las superficies libres de agua que asciende hasta cierta altura de la atmosfera donde se condensa para formar las nubes, las mismas que darán origen a la precipitación, una parte de esta cae al océano pero la mayor cantidad cae sobre superficie terrestre, donde sigue diferentes caminos: una parte es interceptada por la vegetación, otra se convierte en flujo superficial para formar los ríos y quebradas que van a desembocar a lagos y océanos y otra se infiltra en el suelo donde puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea.

3.2 Recursos hídricos

La mayor presión sobre los recursos hídricos, en la zona del Altiplano Boliviano es debida a la agricultura de regadío. Actualmente, la agricultura de regadío consume cerca del 76% de los recursos hídricos disponibles en muchas de las zonas áridas y semiáridas. (FAO, 2000)

Según Peña (1994), indica que los recursos hídricos de una región, son el volumen de agua que dispone la población de dicha región en un determinado periodo de tiempo. Este término comprende las reservas hidráulicas de la cuenca tanto de origen superficial como subterráneo.

En el siglo XXI la explotación del agua dulce duplica con la tasa del crecimiento demográfico. Actualmente se extraen alrededor de 3839 km³ de agua para consumo humano, de lo cual el sector agrícola se lleva la mayor parte: 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. (FAO, 2015)

3.3 Recursos hídricos subterráneos

3.3.1 Importancia del agua subterránea

El agua subterránea que ocupa vacíos presentes en formaciones geológicas, y constituye una de las fases o etapas del ciclo del agua. La cantidad de agua subterránea almacenada en las formaciones geológicas y la facilidad con la cual puede extraerse depende de dos factores físicos: la porosidad y la permeabilidad. (Villon, 2002).

El agua subterránea es ampliamente utilizada en regiones áridas y en islas, debido a la escasez de fuentes superficiales, pero debido al alto costo de los sistemas de abastecimiento de agua superficial, en los países de clima húmedo se ha comenzado a implementar también este recurso. El agua subterránea es la mayor fuente de agua dulce disponible, por lo cual más de la mitad de la población mundial la utiliza para su consumo; además posee un gran número de ventajas, ya que tiene excelente calidad natural, pues en general es libre de patógenos, color y turbiedad, y puede ser consumida directamente sin tratamiento, o luego de realizarse un tratamiento sencillo; está ampliamente distribuida y se pueden desarrollar sistemas de abastecimiento en lugares muy próximos a los sitios donde se presenten las necesidades, evitando así la construcción de grandes sistemas de distribución; sus fuentes son confiables y en general no se afectan ante la presencia de sequías cortas; y puede incrementarse su desarrollo con el tiempo, de esta manera se evita la necesidad de almacenar grandes cantidades de agua. (Villon, 2002).

3.3.2 Recarga

La recarga se puede definir como la entrada de agua dentro de la zona saturada donde comienza a hacer parte de las reservas subterráneas, esta entrada puede darse de dos maneras, por un movimiento descendente del agua debido a las fuerzas de gravedad y luego de presentarse un movimiento horizontal del flujo debido a las diferentes condiciones hidráulicas de las capas que constituyen el perfil del suelo. (Balek, 1988).

Es importante prestar atención en la estimación de la recarga de los acuíferos, ya que es necesario determinar la cantidad de agua que llega a ellos, su calidad, procedencia y las zonas donde se presenta recarga o descarga del flujo subterráneo, por este motivo su cuantificación es un aspecto incluido dentro de estudios referentes a los recursos de agua subterránea, al transporte de contaminantes, a la subsidencia o al diseño de campos de pozos. (Issar & Passhier, 1990).

3.3.2.1 Tipos de recarga

La recarga a un acuífero puede darse naturalmente debido a la precipitación, a las aguas superficiales, es decir, a través de ríos y lagos, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento o por infiltraciones de embalses y depósitos. (Custodio, 1997).

Según Lerner (2002), propone una clasificación similar pero un poco más completa sobre las fuentes de recarga:

- ❖ Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua de lluvia
- ❖ Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y efímeros
- ❖ Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos
- ❖ Retorno de riegos, excesos de riegos o las pérdidas en los canales de distribución
- ❖ Recarga Urbana, producto de fugas de redes de abastecimiento y redes de alcantarillado.

3.3.3 Acuífero

Un acuífero es el sistema formado por las rocas fracturadas o los sedimentos (arenas, gravas y limos), y el agua que se almacena y llena completamente las fracturas o poros; Todos los acuíferos tienen la capacidad de recibir, almacenar y transportar agua, para que los materiales se constituyan en acuíferos los poros o fracturas deben estar interconectados para permitir que el agua pase, aunque muy lentamente, fluya a través de ellos a mayor conexión entre poros y la permeabilidad (o Conductividad

Hidráulica) tendrá un acuífero y mejores posibilidades de ceder cantidades significativas de agua: Un acuífero se recarga principalmente por el agua de lluvia que se infiltra, que al superar la capacidad de almacenamiento de los suelos, circula hacia profundidad aumentando las reservas subterráneas. También puede recargarse por aporte de agua de un río, lago o laguna, o por acción del hombre (pozos negros, efluentes, etc.). Las velocidades de circulación del agua subterránea, que dependen del tamaño y los poros de los sedimentos, son muy bajas, del orden de milímetros o centímetros al año. El flujo de agua subterránea se produce, según gradientes hidráulicos, desde las áreas más altas (de recarga) hacia las más deprimidas (de descarga), donde aflora en superficie, originando manantiales o aportando agua a ríos, lagos, lagunas y humedales. (Blarasin & Cabrera, 2005).

3.3.4 Tipos de acuíferos

3.3.4.1 Acuífero libre o freático

Es el más cercano a la superficie y el agua se mueve debido a la fuerza de la gravedad; La base del acuífero es una capa de material impermeable (arcillas, rocas), que puede ubicarse a distinta profundidad. El nivel superior es el nivel freático (altura que alcanza el agua en el acuífero) el que se encuentra sometido a la presión atmosférica y asciende o desciende en respuesta a los cambios de infiltración del agua de lluvia o por bombeo durante una extracción de agua. (Blarasin & Cabrera, 2005).

Cuando se bombea un acuífero libre o freático, se extrae el agua que es almacenada en el mismo, está sometida a la fuerza de la gravedad (agua grávica). En este momento, el nivel freático desciende, generándose un gradiente hidráulico que origina un flujo de agua hacia el pozo.

Se forma lo que se llama cono de depresión, con forma de embudo cuyo centro es el propio pozo, quedando secos (sin agua grávica) los sedimentos contenidos en él. (Blarasin & Cabrera, 2005)

3.3.4.2 Acuíferos confinados o cautivos

Se encuentran a mayor profundidad y cubiertos por importantes espesores de sedimentos por lo que el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica. La base y el techo de estos acuíferos son sedimentos (capas confinantes) de gran espesor prácticamente impermeables (arcillas).

Cuando se perfora un acuífero confinado el nivel del agua en la perforación asciende por encima del techo del mismo debido a la presión a la que estaba sometida el agua, intentando igualar el nivel del área de recarga y alcanzando de este modo un nivel de estabilización llamado nivel piezométrico o de presión hidrostática del acuífero. Los acuíferos confinados pueden recargarse por infiltración de agua de lluvia en áreas alejadas, en donde se comportan como freáticos. Un caso especial de los acuíferos confinados es aquel en que, si los materiales del techo son semipermeables o impermeables de poco espesor, pueden recibir aporte de acuíferos ubicados por encima, denominándose en este caso acuíferos semiconfinados.

Cuando se explota un acuífero confinado su nivel piezométrico desciende, formándose un cono de depresión. En este caso, el nivel del agua disminuye en la perforación, pero el cono que se forma es imaginario, ya que sólo puede reconstruirse a partir de otros pozos que penetren el mismo acuífero que se está bombeando. Cuando se extrae agua de un acuífero confinado, ésta es cedida en pequeñas cantidades por efectos de dilatación del agua y de compactación del acuífero, debido a la disminución brusca en la presión, generada por el bombeo. Por ceder el agua de este modo, para obtener buenos caudales de estos acuíferos, se producen cambios de presión que comprometen grandes áreas y conos de depresión de cientos de metros o kilómetros. En numerosos lugares (México, California, etc.) esta compactación del acuífero ha generado hundimientos en el terreno que ocasionaron grandes problemas en la infraestructura urbana. Las formas de extraer agua de los acuíferos son diversas a través de diferentes mecanismos de bombeo. (Blarasin & Cabrera, 2005)

3.3.4.2 Acuíferos semiconfinados

Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua.

3.3.5 Volumen de agua en un acuífero

La cantidad de agua que puede extraerse de un acuífero (libre o confinado) es variable, depende de las características del mismo (porosidad, permeabilidad, espesor, etc.) y del diseño de la captación realizada. Hay pozos con bombas que permiten extraer hasta 600.000 litros por hora (L/h) o más, mientras que con un molino pueden obtenerse caudales pequeños del orden de 800 - 1.500 L/h aproximadamente. (Blarasin & Cabrera, 2005).

3.3.6 Características de los acuíferos

La propiedad de los acuíferos de contener agua, está gobernada por varios factores: Porosidad, Permeabilidad, Transmisibilidad Específica y Coeficiente de almacenamiento. Conocer estas características permite evaluar la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro a agotarlo. (Arocha, 1980).

3.3.7 Abatimiento de pozos

Bajo condiciones de extracción o inyección de un pozo, la carga hidráulica inicial en cualquier punto del acuífero cambia. En condiciones de extracción de un pozo, la distancia vertical entre la carga hidráulica inicial en un punto en el acuífero y la posición baja de la carga hidráulica para el mismo punto es llamado abatimiento. Para un acuífero libre el nivel del agua en el nivel freático está determinado por la distancias (x,y,z,t) , la cual es el abatimiento. Para el caso del acuífero confinado, el abatimiento es definido con respecto a la superficie piezométrica. Este descenso de niveles, define la curva de abatimiento, por lo tanto, es claro que el abatimiento presente su menor valor en lejanías del pozo y el mayor valor en el pozo.

http://www.docentes.unal.edu.co/lddonadog/docs/Presentations/Donado_1999b.pdf

Figura 1. Coeficiente de permeabilidad típicos

Suelo	K cm/s
Grava uniforme (GP)	0,2 a 1 o mas
Grava bien graduado (Gw)	5×10^2 a 0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^4 a 0,2
Arena bien graduada (SW)	10^4 a 0,1
Arena limosa (SM)	10^4 a 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^5 a 10^{-3}
Limo (ML)	5×10^5 a 10^{-4}
Arcilla (CL)	10^6 a 10^{-8}
Arcillas coloidales (CH, OH)	10^8 a 10^{-10}

Fuente: http://www.docentes.unal.edu.co/lddonadog/docs/Presentations/Donado_1999b.pdf

3.3.7.1 Nivel Estático

Es el nivel de agua presente en la formación acuífera antes de comenzar el bombeo. Este nivel se ve afectado por efectos meteorológicos (precipitación, infiltración) estacionales o por cargas adicionales (edificaciones), o por la descarga producida por pozos cercanos.

http://www.docentes.unal.edu.co/lddonadog/docs/Presentations/Donado_1999b.pdf

3.3.7.2 Nivel Dinámico

También llamada nivel de bombeo, porque es producido cuando comienza la descarga del acuífero por el pozo. Este nivel depende del caudal de bombeo, del tiempo de bombeo y de las características hidrogeológicas del acuífero.

http://www.docentes.unal.edu.co/lddonadog/docs/Presentations/Donado_1999b.pdf

3.4 Calidad de agua para riego

La calidad del agua queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de sus componentes, solo o en conjunto, permitiendo de esta forma establecer posibilidades de utilización.

La “calidad” debería ser una característica determinada para cada zona, donde se tuvieran en cuenta los sistemas de riego a usar, los suelos y las aguas presentes en cada región, es decir, deberían surgir parámetros de uso adaptados a cada situación específica. (Heredia 2002).

3.4.1 Selección de parámetros

La selección de los parámetros a evaluar dependerá, en principio, de la fuente de agua; si las aguas son superficiales, será importante conocer la concentración de sólidos en suspensión, mientras que éste no es un parámetro relevante en aguas subterráneas, donde existen menos posibilidades del arrastre de material que pueda obturar cañerías, si la perforación está bien diseñada. (Heredia, 2002).

3.4.1.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos que se pueden evaluar son: turbidez, color, olor, sabor y temperatura.

a) Color

Se debe a la absorción de luz, en el rango de mayor longitud de onda. Está determinada por la presencia de materiales en suspensión o disueltos en ella. Ejemplos: la presencia de materia orgánica, el hierro, los residuos domésticos, algas, son distintas manifestaciones del color en el agua. El color debe determinarse antes que la turbidez. (Heredia, 2002).

b) Turbidez y sedimentación

La turbidez está determinada por la presencia de partículas en suspensión (limo, arcilla, sales de hierro, materia orgánica, etc.). Cuando las partículas, por su tamaño, se depositan rápidamente se producirá sedimentación. En el caso de represas o embalses, este proceso es importante ya que disminuye la vida útil de los mismos.

La turbidez restringe su uso en aguas destinadas a riego, y las partículas en suspensión pueden originar trastornos en los elementos usados en riego: desgastes anormales en turbinas y cuerpos de difusores de los equipos de bombeo, tapar picos

de aspersores y emisores de los goteros. Los sólidos en suspensión pueden afectar la permeabilidad del suelo al agua y al aire. (Heredia, 2002).

c) Olor y sabor

Tanto el olor como el sabor, constituyen índices de “²polución” del agua. No es un parámetro importante para riego. (Heredia, 2002).

d) Temperatura

El agua de riego actúa sobre las temperaturas del suelo y las plantas, modificando su régimen térmico, en función del sistema de riego, la época de aplicación y del origen del agua utilizada.

Si el riego es de superficie, puede provocarse enfriamiento del suelo y del sistema radicular de la planta generando un desequilibrio entre las partes aéreas calientes y las radicales, más frías. El enfriamiento de las raíces reduce su capacidad para absorber el agua y elementos nutritivos del suelo, originando trastornos en la planta.

Se considera fría a aquellas aguas cuyas temperaturas son:

- ❖ $T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, en zonas de alta montaña
- ❖ $10 < t < 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, en zonas septentrionales
- ❖ $15 < t < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, en zonas meridionales

Si el agua procede de pozos profundos, es frecuente que en verano resulten frías para utilizarlas en riego, por lo que en muchos casos sea necesario almacenarlas superficialmente para adecuar a la temperatura ambiente. (Heredia, 2002).

3.4.1.2 Parámetros químicos

La calidad de agua de riego se define en función de 3 criterios principales: salinidad, sodicidad y toxicidad. (Jimenez, 2005).

² Polución: se trata de la **contaminación ambiental** provocan ciertas sustancias y desechos. La polución, en este sentido, genera múltiples problemas para la naturaleza y para todos los seres vivos.

Según Vásquez (2000), La calidad de agua de riego está determinada por la composición y concentración de los diferentes elementos que pueda tener, ya sea en solución o en suspensión. La calidad del agua de riego determina el tipo de cultivo a sembrar y el tipo de manejo que debe darse al suelo.

Según Palacios (2010), quien utilice el agua de riego debe conocer los efectos que la calidad del agua y las prácticas de riego tienen sobre:

- ❖ El contenido de sales del suelo
- ❖ La concentración del sodio del suelo
- ❖ La rapidez con que el agua infiltra en el suelo
- ❖ La presencia de elementos que pueden ser tóxicos para las plantas.

a) pH del agua

El pH del agua aceptable para uso agropecuario y consumo humano, que se encuentra en un rango de **6,5 a 8,5**, (SSA, 1994), mientras que el agua de riego agrícola va de 6.0 a 9.0, (³CONAGUA, 2013).

Según Terrón (2002), menciona que, para el caso de aguas de riego, el pH normal está comprendido entre **6 y 8,5** unidades, un valor fuera de este intervalo de normalidad, es un buen indicador de una calidad anormal del agua o la presencia de algún ion tóxico.

Figura 2. Escala de pH



Fuente: (Terrón, 2002)

b) Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, varía en función de la temperatura y está directamente relacionada con la

³ CONAGUA: Comisión Nacional de Agua

concentración de sales disueltas en el agua; por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con los sólidos disueltos totales. (Redondo, 2015).

La conductividad eléctrica es también uno de los parámetros de mayor importancia para la determinación de la calidad del agua para riego, debido a que nos proporciona información sobre la concentración de las sales solubles. La salinidad es la variable de calidad que tiene un mayor efecto sobre los cultivos. En base al parámetro de medida CE. (Redondo, 2015).

Según FAO (1985) establece que aguas con **CE < 0,7 dS/m** no tienen ningún grado de restricción de uso para riego, aguas con **CE > 3,0 dS/m** tienen un grado de restricción severo y aguas entre ambos valores de CE tienen un grado de restricción moderado.

Aguas de menos de **1,2 mS/cm o 1200 µS/cm** no suelen plantear ningún problema, por el contrario, aguas con una conductividad por encima de **2,5 mS/cm o 2500 µS/cm** no son aconsejables para el riego.

c) Sólidos disueltos totales (S.D.T.)

Los SDT es la medida del contenido de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas en un líquido en forma suspendida molecular, ionizada o micro granulada. (Arain et al.,2014)

Altas concentraciones de S.D.T., de sales inorgánicas, principalmente Ca, Mg, K, Na, bicarbonatos, sulfatos y cloruros. (Patil et al. 2012) & (Páez-Sánchez et al 2013).

La importancia de la determinación de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (S.D.T.) radica fundamentalmente a que un exceso de sales solubles en las aguas puede dificultar el funcionamiento normal de las raíces, esto por la limitación en la absorción de agua y las consecuentes deficiencias de toma de nutrientes.

Según FAO (2000), establece una concentración de **< 450 mg/L** de Total de Sólidos en Solución para aguas destinadas al riego sin ninguna restricción, **450 a 2000** para restricción moderada y **> 2000** para un grado de restricción severo del agua de riego.

3.4.1.3 Contenido de cationes

Si se dispone de energía suficiente, es posible eliminar uno o más electrones de un átomo neutro, dejando una partícula de carga positiva que es algo menor que el átomo original, esta partícula cargada positivamente se llama catión, (Masterton & Slowinski, 1974).

En un análisis de aguas para riego, es necesario determinar los siguientes cationes: Amonio (NH_4^{+1}), Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), Sodio (Na^{+1}) y Potasio (K^{+1}), expresándolos en meq/L. (Vasquez 2000).

a) Sodio

El peligro de tener agua con elevada concentración de sodio se debe a que este elemento considerado tóxico es responsable de la impermeabilización de los suelos, especialmente en zonas donde el drenaje es deficiente. Sólo sus efectos quedan contrarrestados cuando las concentraciones de calcio y magnesio son importantes. La OPS/OMS establece que el límite de sodio para aguas superficiales es de **300mg/L**, a partir de dicha concentración se generan problemas en los cultivos.

b) Potasio

Como se sabe las concentraciones de potasio frente al sodio son muy bajas, esto debido a que el sodio es uno de los elementos más abundantes de la tierra, mientras que el potasio es bajo.

Junto con el nitrógeno y el fósforo, el potasio es uno de los macronutrientes esenciales para la supervivencia de las plantas. Su presencia es de gran importancia para la salud del suelo, el crecimiento de las plantas y la nutrición animal. Su función primaria en las plantas es su papel en el mantenimiento de la presión osmótica y el tamaño de la célula, influyendo de esta forma en la fotosíntesis y en la producción de energía, así como en la apertura de las estomas y el aporte de dióxido de carbono, la turgencia de la planta y la translocación de los nutrientes. Como tal, el elemento es requerido en proporciones relativamente elevadas por las plantas en desarrollo. (Ayers & Westcot, 1985).

Según Pastor (2005), Valores normales para riego esta entre **0-2 mg/L**

Las consecuencias de niveles bajos de potasio se muestran por variedad de síntomas: restricción del crecimiento, reducción del florecimiento, y menor calidad de producción.

Elevados niveles de potasio soluble en el agua pueden causar daños a las semillas en germinación, inhiben la toma de otros minerales y reducen la calidad del cultivo.

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/k.htm#ixzz5yVghbHEr>

c) Calcio

El ion calcio juega un papel muy importante en regular la estructura y las propiedades físicas del suelo. Además, aumenta su capacidad biológica y su permeabilidad al aire y al agua. valores normales para riego esta entre **0-400 mg/L**. (Monge, 2018).

d) Magnesio

La dureza del agua indica la cantidad total de iones ⁴alcalinotérreos (grupo 2) presentes en el agua y constituye un parámetro de calidad de las aguas de interés doméstico o industrial. En las aguas naturales, la concentración de calcio y magnesio es habitualmente muy superior a la del resto de alcalinotérreos, por lo que la dureza es prácticamente igual a $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$. Tradicionalmente, la dureza del agua se ha asociado a la capacidad de los cationes presentes en la misma para sustituir los iones sodio y potasio de los jabones, lo cual da lugar a grumos insolubles que pueden consumir una cantidad importante del jabón que se utiliza en la limpieza. El agua dura deja depósitos sólidos o costras (por ejemplo, carbonato cálcico) en las tuberías pudiendo llegar a obstruirlas. Sin embargo, la dureza del agua es beneficiosa para el riego porque los iones alcalinotérreos tienden a flocular las partículas coloidales del suelo (es decir favorecen la formación de agregados de dichos coloides) lo cual aumenta la permeabilidad del suelo al agua. La dureza del agua no se considera perjudicial para la salud humana. (Daniel & Harris, 2004/05).

⁴ Los metales **alcalinotérreos** son un grupo de elementos que se encuentran situados en el grupo 2 de la tabla periódica y son los siguientes: berilio (Be), magnesio (Mg), calcio (Ca), estroncio (Sr), bario (Ba) y radio (Ra).

La presencia de sales de magnesio y calcio en el agua depende fundamentalmente de las formaciones geológicas atravesadas por el agua de forma previa a su captación. Las aguas subterráneas que atraviesan acuíferos carbonatados (calizas) son las que presentan mayor dureza y dichos acuíferos están formados por carbonatos de calcio. Valores normales de magnesio para riego esta entre **0-60 mg/L**. (Monge, 2018).

3.4.1.4 Contenido de aniones

Pueden agregarse alternativamente electrones a ciertos átomos para formar especies de carga negativa que son algo mayores que el átomo del que se derivan, a estas partículas se las denomina aniones. (Masterton, 1974).

En un análisis de aguas para riego, es necesario determinar los siguientes aniones: Bicarbonato ($\text{CO}_3\text{H-1}$), Carbonatos ($\text{CO}_3\text{-2}$), Cloruro (Cl-1), Fosfato ($\text{PO}_4\text{-2}$), Nitrato ($\text{NO}_3\text{-1}$) y Sulfato ($\text{SO}_4\text{-2}$). Y se expresan en meq/L. (Vásquez ,2000).

a) Sulfatos

Los sulfatos son perjudiciales a los cultivos debido a que ayuda a la salinidad de los suelos, su origen se debe a la disolución de yesos. Según la norma chilena NCh 1333 el máximo limite permisible (MLP), es de **250 mg/L**.

b) Cloruros

Debido a que el Cloruro es un indicador de la salinidad ya que está asociado al sodio. En aguas de regadío valores por encima de **400 ppm** son altamente peligrosos para la agricultura.

Los cloruros están presentes en todas las aguas naturales en concentraciones variables. La magnitud es mayor en aguas subterráneas que en superficiales, especialmente si hay depósitos de sal en el área. (Páez-Sánchez *et al*, 2013).

La alta concentración de estos aniones puede ser debido a la presencia de la piedra caliza, dolomita, yeso, sales y carbones dentro de los sedimentos cuaternarios. (Arain *et al.*, 2014).

Altas concentraciones de cloruros pueden evitar el crecimiento de las plantas y causar daños a estructuras metálicas, como causar la corrosión de tuberías, lo que puede ser potencialmente peligroso si dichas tuberías están compuestas de metales tóxicos. (Páez-Sánchez *et al.*, 2013).

Un contenido de cloruro mayor a **10 meq/L** puede causar problemas graves a los cultivos. (Phocaides, 2000).

Según la norma chilena NCh 1333 el máximo límite permisible (MLP), del cloro es de **200mg/L**.

c) Carbonatos y bicarbonatos

Las aguas bicarbonatadas sódicas son malas para riego, debido a la fijación del Na en el terreno y creación de un medio alcalino, ya que hay peligro que se presenten precipitados de calcio y magnesio o de contribuir a que se incremente el pH del suelo a niveles en que los nutrientes no puedan aprovecharse, este peligro se presenta con pH mayores que 8,0.

Según Compo (2004). Indica los valores y la existencia de bicarbonatos lo que pone en riesgo de que precipite CaCO_3 en tuberías metálicas e indica que es mejor trabajar con instalaciones de tubería PVC.

Según la FAO establece una concentración de **5 mg/L** de carbonatos y **340 mg/L** de bicarbonatos para aguas destinadas al riego.

d) Boro

El Boro se halla presente en el agua de riego en concentraciones que varían desde trazas hasta varias partes por millón, es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas convirtiéndose en un elemento tóxico cuando excede su nivel óptimo el mismo que considera menor a **0,33 ppm** para cultivos sensibles hasta **1,00 ppm** para cultivos tolerante y se expresa en ppm. (Vásquez, 2000).

Figura 3. Calidad del agua en relación a su contenido en Boro

Clase respecto al boro	Cultivos Sensibles ppm	Cultivos Semi tolerantes ppm	Cultivos tolerante ppm
1	< 0,33	< 0,67	> 1,00
2	0,33 - 0,67	0,67 - 1,33	1,00 - 2,00
3	0,67 - 1,00	1,33 - 2,00	2,00 - 3,00
4	1,00 - 1,25	2,00 - 2,50	3,00 - 3,75
5	> 1,25	> 2,50	> 3,75

Fuente: Sánchez (2005)

Los problemas de toxicidad están referidos a los constituyentes (iones) toxicidad. Los síntomas de toxicidad son normalmente mostrados en las hojas viejas como amarillamiento. En las regiones áridas, el Boro es considerado el elemento más perjudicial en el agua de riego. (Phocaides 2000)

Cuando las concentraciones de boro muestran valores menores de **1 meq/L** son esenciales para el desarrollo de la planta, la mayoría de las plantas pueden tener problemas de toxicidad cuando la concentración de boro excede a **2 mg/L**.

También la ley 1333 del (⁵MDSMA, 1995), menciona que el valor máximo de boro en el agua es de **1 mg/L**.

3.4.1.5 Riesgo de acumulación de sodio (RAS)

Uno de los iones que más favorece la degradación del suelo es el sodio que sustituye al calcio en los suelos de zonas áridas. Esta sustitución da lugar a una dispersión de los agregados y a una pérdida de la estructura, por lo que el suelo pierde rápidamente su permeabilidad. Una acción contraria a la señalada para el sodio es la que desempeñan calcio y magnesio. Para prever la degradación que puede provocar una determinada agua de riego se calcula el índice S.A.R. que es la relación de absorción de sodio. Hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran el ion sodio y los iones calcio y magnesio. (Cánovas, 1986).

⁵MDSMA: Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Figura 4. Parámetros de riesgo de R.A.S.

R.A.S.	Riesgo
0 – 10	Bajo
10-18	Medio
18 – 26	Alto
más de 26	Muy Alto

Fuente: (Cánovas, 1986)

El R.A.S. se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde: los cationes se expresan en meq/L

3.4.1.6 Porcentaje de Sodio Intercambiable (P.S.I.)

La presencia de sodio intercambiable crea condiciones de inestabilidad de los agregados del suelo y del sistema poroso, el hinchamiento y la dispersión coloidal restringen la permeabilidad del suelo al agua y gases y conduce consecuentemente a problemas de anegamiento, encostramiento, escurrimiento y pobre aireación, se lo relaciona con la relación de adsorción de sodio (RAS) y se calcula con la siguiente fórmula:

$$PSI = \frac{RAS*0.01}{1+(RAS*0.01)} * 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

Para utilizar el PSI como índice de calidad del agua de riego se evalúa el riego de estas por la tendencia a desarrollar suelos sódicos y sus valores de riesgo se muestran en la siguiente Figura 5.

Figura 5. Clasificación de agua (P.S.I.)

Porcentaje de Sodio Intercambiable	Riesgo
P.S.I < 5	Bajo
5 < P.S.I. < 15	Moderado
15 < P.S.I.	No recomendable

Fuente: (Porta, 2010)

3.4.1.7 Porcentaje de Sodio Soluble (P.S.S.)

El índice de Porcentaje de Sodio Soluble (P.S.S.) está relacionado a aguas de irrigación y extractos de suelos para indicar la relación de iones de sodio en solución con relación a la concentración total de cationes solubles, (Siles, Hitsuda, & Kobayashi, 1999); se puede calcular con la siguiente formula:

$$P. S. S. = \frac{Na}{(Ca+Mg+Na+K)*100} \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde: Ca, Mg, Na y K. Están expresados en meq/L.

La clasificación de las aguas de riego según su porcentaje de sodio soluble se muestra en la siguiente gráfica.

Figura 6. Clasificación de agua de riego según el P.S.S.

Porcentaje de Sodio Soluble	Clasificación
P.S.S. < 50%	Buena
50% < P.S.S. < 66%	Dudosa a inadecuado
P.S.S. > 66%	Inadecuado

Fuente: (Siles *et al*, 1999)

3.4.1.8 Normas para la clasificación del agua de riego

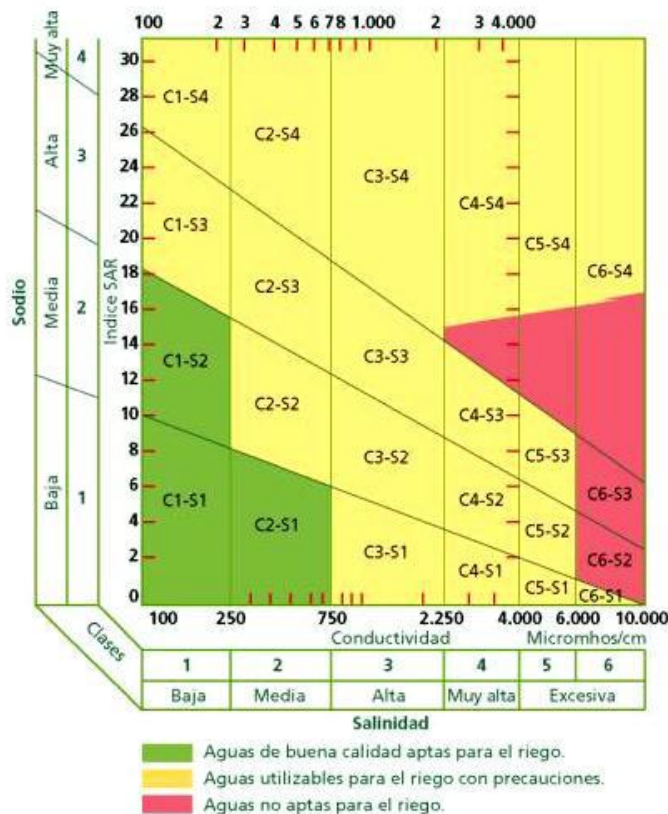
a) Norma Riverside

La Norma Riverside es un sistema para la clasificación de las aguas para riego desarrollado por el servicio de agricultura de los EE.UU. Tienen gran aceptación nacional porque basa su estructura en relación a dos criterios importantes, la conductividad eléctrica (uS/cm) y el índice de RAS. Según estos dos índices se

establecen categorías o clases de aguas enunciadas según las letras C y S (primeras iniciales de cada uno de los índices escogidos), cuyo valor aumenta en relación con el del índice respectivo, estos subíndices varían entre 1 y 4, tanto para la conductividad eléctrica como para el SAR. De acuerdo con esta Norma es posible determinar la calidad del agua y establecer si es apta para el riego. (Urbano, 1980).

Debemos tener en cuenta que la permeabilidad del sustrato influye notablemente en la definición de la calidad de agua de riego ya que es necesario conocer el tipo de suelo para determinar el riesgo de salinidad y de sodio. También es aconsejable considerar el análisis del suelo para prever la interacción del agua de riego que va a ser determinante sobre la nutrición de la planta.

Figura 7. Diagrama para la clasificación de las aguas de riego (Según USDA)



Fuente: Blasco y de la Rubia Laboratorio de suelos IRYDA. (1973), citado por Pérez (2011)

Figura 8. Peligro de salinidad en términos de CE⁶ (Según USDA)

Categorías de Clasificación	Rango de Variación C.E. a 25°C	Observaciones a considerar
Agua de baja Salinidad C1	0 – 250 $\mu\text{S/cm}$	Puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero este se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelo de muy baja permeabilidad
Agua de salinidad media C2	250 – 750 $\mu\text{S/cm}$	Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se puede producir plantas moderadamente tolerantes a las sales
Agua altamente salina C3	750– 2250 $\mu\text{S/cm}$	No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado. Se puede necesitar practicas especiales de control de la salinidad, debiendo por lo tanto seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a las sales
Agua muy altamente salina C4	2250-5000 $\mu\text{S/cm}$	No es apropiado para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado; en este caso deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a las sales

Fuente: (Siles et al., 1999)

⁶ CE: Conductividad eléctrica

Figura 9. Peligro de sodificación en términos de RAS (según USDA)

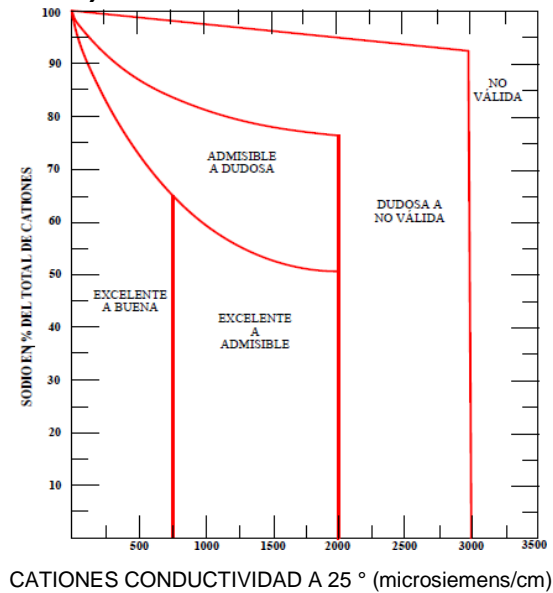
Categorías de Clasificación	Rango de Variación SAR	Observaciones a considerar
Agua baja Sodio S1	0 – 10	Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio
Agua media en sodio S2	10 – 18	En suelos de textura pesada (fina) el sodio representa un peligro considerable, más aun si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio catiónico, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente a menos que el suelo contenga yeso. Estas aguas solo pueden usarse en suelos de textura liviana (gruesa) o en suelos orgánicos de buena permeabilidad
Agua alta en sodio S3	18 – 26	Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que estos necesitaran practicas especiales de manejo buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riegan con este tipo de aguas. Puede requerirse de mejoradores químicos para sustituir al sodio intercambiable; sin embargo tales mejoradores no serán económicos si se usan aguas de muy alta salinidad
Agua muy alta en sodio S4	26 – 30	Es inadecuado para riego cuando su salinidad es baja o media cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómico de esta clase de aguas

Fuente: (Siles *et al.*, 1999)

b) Norma L.V. Wilcox

La Norma L.V. Wilcox es un modelo que nos sirve para clasificar la calidad de agua de riego según la aptitud de uso tomando como base la conductividad eléctrica del agua (CE) y la relación de absorción de sodio (RAS).

Figura 10. Interpretación del agua de riego. (Adaptado de “The Quality fo wáter for Irrigation USE”, U.S.D.A)

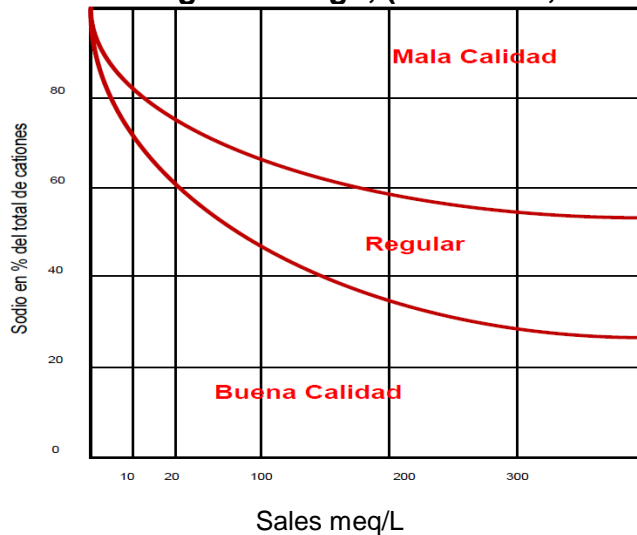


Fuente: (Cánovas, 1986)

c) Norma H. Greene (F.A.O.)

La norma H. Greene toma como base la concentración total de sales expresadas en meq/L con relación al porcentaje de sodio, este porcentaje se calcula respecto al contenido total de cationes expresados en meq/L.

Figura 11. Interpretación del agua de riego, (H. Greene, F.A.O)



Fuente: (Cánovas, 1986)

3.4.1.9 Salinidad

Las sales presentes en el agua o en el suelo reducen la disponibilidad de agua para el cultivo, provocan un estado de marchitamiento y afectan por tanto a los rendimientos.

A partir de **0,7 dS/m** de CEa se produce riesgo para los cultivos más sensibles a las sales. (Redondo, 2015)

3.4.1.10 Infiltración del agua en el suelo

Un contenido relativamente alto de sodio o relativamente bajo de calcio en el agua o en el suelo reduce la velocidad a la cual el agua de riego se infiltra.

Los problemas más frecuentes relacionados con una baja infiltración suelen producirse cuando el sodio se incorpora al suelo y deteriora su estructura. Los agregados del suelo se dispersan en partículas pequeñas que taponan o sellan los poros y evitan que el agua pueda circular e infiltrarse con facilidad. El suelo adquiere un aspecto pulverulento y disforme, perdiendo rápidamente su permeabilidad. El efecto contrario lo produce el calcio y el magnesio, por lo que para evaluar realmente el problema que puede generar un exceso de sodio hay que conocer también la cantidad de calcio y magnesio que hay en el suelo. (Redondo, 2015).

3.4.1.11 Toxicidad

Los problemas de toxicidad surgen cuando ciertos elementos (iones) del suelo o del agua, son absorbidos por las plantas y acumulados en sus tejidos en concentraciones lo suficientemente altas como para provocar daños y reducir sus rendimientos. La magnitud de estos daños depende la cantidad de iones absorbidos y de la sensibilidad de las plantas; los cultivos perennes son los más sensibles. Los iones de mayor importancia son el cloro, el sodio y el boro. (Ayers & Westcol, 1994)

Los iones tóxicos más comunes presentes en las aguas residuales son Boro, Cloruro y Sodio, (Aceves & Palacios, 1994). Sus niveles de toxicidad expresados en meq/L se muestran en la siguiente figura.

Figura 12. Iones tóxicos presentes en las aguas

Niveles tóxicos de iones específicos	Boro (meq/L)	Cloruros (meq/L)	Sodio (meq/L)
Ninguno	< 1	1 - 3	< 3
Ligero a moderado	< 3	3 - 9	< 9
Severo	< 4	9 - 10	< 10

Fuente: Aceves & Palacios, 1994

3.4.1.12 Dureza del agua

Este índice se refiere al contenido de calcio en el agua. Es importante para conocer, por un lado, el riesgo de obstrucciones en los ramales de riego, emisores de goteos y boquillas de los aspersores, y por otro para indicarnos la utilidad de un agua en determinados tipos de suelo. (Cánovas, 1986).

Para corregir un suelo con exceso de sodio (acción degradante sobre la estructura), es aconsejable el empleo de aguas ricas en calcio para que este elemento desplace al sodio en las uniones entre las partículas de suelo. Un agua con mucho calcio es dura. Por el contrario, si tiene poco calcio se considera blanda. La dureza se expresa en grados hidrométricos franceses. (Cánovas, 1986).

Figura 13. Indicativo de valores de dureza

Tipo de agua	Grados hidrométricos Franceses
Muy blanda	menor de 7
Blanda	7-14
Medianamente blanda	14 – 22
Medianamente dura	22 – 32
Dura	32 – 54
Muy dura	> a 54

Fuente: (Cánovas, 1986)

La dureza del agua se calcula con la siguiente formula:

$$Dureza = \frac{(Ca*2.5)+(Mg*4.12)}{10} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde: Los iones se expresan en mg/L

El grado de dureza permite clasificar el agua de riego en función del catión calcio.

3.4.1.13 El verdadero riesgo del agua de riego

En cada caso lo que se valora es el riesgo potencial del uso del agua, es decir, la mayoría de las aguas consideradas peligrosas tienen un contenido de sales que en sí mismo no es demasiado perjudicial, el problema se presenta cuando esas aguas evolucionan en el suelo. Ya que la evapotranspiración disminuye la humedad del suelo, pero prácticamente no elimina sales, de forma que la solución del suelo se hace más salina a medida que el suelo se seca. Por tanto, un agua que inicialmente tenga una concentración salina aceptable puede alcanzar valores elevados. Pero, además, se presentan otro tipo de fenómenos: al concentrarse las sales, algunas de ellas pueden alcanzar su límite de solubilización y precipitar, retirando de la solución del suelo determinados cationes y alterando las proporciones iniciales. Esto puede ocurrir con las sales de calcio de baja solubilidad, lo que tiene como consecuencia un aumento de la proporción de sodio en el agua del suelo y del PSI del mismo. (Jimenez & Costillas, 2015).

3.5 Evapotranspiración (ET)

La evapotranspiración (ET) 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. (7FAO, 2006).

3.5.1 Evaporación

Menciona que la evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). Por eso, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación. (FAO 2006).

Los mismos autores señalan que cuando la superficie evaporante, es la superficie del suelo, el grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y la cantidad de agua disponibles en la superficie son otros factores que afectan el proceso de la evaporación. Lluvias frecuentes, el riego y el ascenso capilar en un suelo con manto freático poco profundo, mantienen mojada la superficie del suelo. En zonas en las que el suelo es capaz de proveer agua con velocidad suficiente para satisfacer la demanda de la evaporación del suelo, este proceso está determinado solamente por las condiciones meteorológicas. Sin embargo, en casos en que el intervalo entre la lluvia y el riego es grande y la capacidad del suelo de conducir la humedad cerca de la superficie es reducida, el contenido en agua en los horizontes superiores disminuye y la superficie del suelo se seca. Bajo estas circunstancias, la disponibilidad limitada del agua ejerce un control sobre la evaporación del suelo. En ausencia de cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la superficie del suelo, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar casi totalmente en un corto lapso de tiempo. (FAO, 2006).

3.5.2 Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Así mismo señala que los

⁷ FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. La transpiración depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento, por eso, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. Por otro lado, el contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. Diversas clases de plantas pueden tener diversas tasas de transpiración. Por otra parte, no solamente el tipo de cultivo, sino también su estado de desarrollo, el medio donde se produce y su manejo, deben ser considerados al evaluar la transpiración. (FAO 2006).

3.6 Evapotranspiración de referencia (ET_o)

El valor de ET_o corresponde a la cantidad de agua evaporada y transpirada desde una superficie de referencia con cubierta vegetal en activo crecimiento, la cual se mantiene con suficiente humedad; la superficie de referencia mencionada es un cultivo hipotético de pasto con características específicas. (FAO, 2006).

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración de referencia y se denomina ET_o. (8PRONAR, 2003).

La lámina de agua a aplicar al terreno debe reponer el agua perdida por evaporación del suelo y la transpirada por la planta, cuya suma es la evapotranspiración. Considerando que las tasas de evaporación y transpiración varían en función de parámetros climáticos. Para el diseño, hay que determinar los valores máximos de reposición requerida por que guían al diseño y se recomienda usar la herramienta área bajo riego óptimo “9ABRO”, (Hoogendam & Rios, 2008) & CROPWAT 8.0, FAO.

⁸ PRONAR, Programa Nacional de Riego

⁹ ABRO, Area Bajo Riego Optimo

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina E_{To} . La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. La E_{To} estudia la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre E_{To} . (FAO, 2008).

3.7 Evapotranspiración del cultivo (E_{Tc})

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (E_{Tc}). Las condiciones estándar de los cultivos son: que se desarrollen en campos extensos, bajo condiciones agronómicas excelentes y sin limitaciones de humedad en el suelo. La evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia (E_{To}) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto. Los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto están incorporados en el coeficiente del cultivo (K_c). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando E_{To} por K_c . (FAO, 2006).

3.8 Coeficiente de cultivo (K_c)

El factor K_c representa el resumen de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia. El valor de K_c varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Así mismo el mismo autor señala que el valor del coeficiente K_c para cultivos que cubren completamente el suelo refleja

principalmente las diferencias en transpiración, debido a que la evaporación que ocurre en el suelo es relativamente pequeña. (FAO, 2006).

Después de un evento de lluvia o riego, el efecto de evaporación es predominante cuando el cultivo es pequeño y sombrea escasamente el suelo, en esas condiciones de poca cobertura, el coeficiente K_c está determinado principalmente por la frecuencia con la cual se humedece la superficie del suelo. Cuando el suelo se encuentra humedecido la mayoría del tiempo debido al riego la lluvia, la evaporación en el suelo será significativa y el valor de K_c puede exceder a la unidad. (FAO, 2006).

3.9 Índice de escases

Describe la metodología para el cálculo del Índice de escases para aguas superficiales. Define el índice de escases como la relación porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades sociales y económicas sobre la oferta hídrica disponible.

Este índice de escases constituye la principal herramienta para evaluar si el recurso hídrico de un país, área hidrográfica, región, municipio o cabecera es suficiente o deficitario. De esta manera se encuentran nuevos soportes de planificación, desarrollo y uso racional y eficiente del agua. (¹⁰IDEAM, 2010).

3.10 Balance hídrico

Según ¹¹SNET (2005), indica que un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área. El modelo de balance hídrico se basa en la ecuación de conservación de masa.

El objetivo principal del balance hídrico es realizar una evaluación cuantitativa espacial y temporal a nivel medio de los recursos hídricos. (Montes de Oca & Ismael, 1997).

¹⁰ IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

¹¹ SNET, Servicio Nacional de Estudios Territoriales

En una cuenca hidrográfica la oferta de agua compuesta por las precipitaciones y los escurrimientos aguas arriba es en parte evaporada y evapotranspirada, y el remanente escurre aguas abajo. (Van Damme, 2002).

Mediante la lluvia, el riego y el ascenso capilar del agua subterránea en dirección a la zona radicular se aportan agua a la zona radicular y de esta manera disminuye el agotamiento de humedad en esta zona. Los procesos de evaporación, transpiración del cultivo y las pérdidas por percolación remueven el agua de la zona radicular, aumentando el agotamiento de la humedad del suelo. (FAO, 2006).

3.11 Eficiencia del uso de agua de las plantas

La eficiencia en el uso del agua (EUA) de las plantas puede entenderse de manera genérica como el volumen de agua que éstas necesitan consumir (evapotranspirar) para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono proveniente de la atmósfera (en la que se encuentra en forma de CO₂). De esta manera, 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. (Medrano et al.2002).

3.12 Demanda de agua para uso agrícola (DUA)

Es la diferencia de precipitación menos la evapotranspiración del cultivo por la superficie del cultivo. La evapotranspiración del cultivo es el producto de la evapotranspiración de referencia por el coeficiente del cultivo (kc). (FAO, 2008).

3.12.1 Precipitación efectiva

Se define como la proporción de agua retenida en la capa radicular con relación a la cantidad de lluvia caída. Su magnitud depende, por un lado, de las características del terreno (condiciones físicas, grado de humedad, pendiente, cobertura del cultivo, etc.) y por otra de las características de precipitación (altura de caída de agua, intensidad, duración y frecuencia).

El (PRONAR), indica en función a las características agroecológicas de las regiones del Altiplano, Valles y Chaco; considera que no son efectiva las precipitaciones menores a 12,15, y 20 mm respectivamente. Las lluvias mensuales, resultantes de la diferencia, son efectivas al 70, 77,5 y 80 % siendo adoptadas las siguientes expresiones para el cálculo de la precipitación efectiva.

$$\text{Altiplano: } Pe = \left(\frac{P_{mm}}{mes} - 12 \right) * 0.70(mm) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{Valles: } Pe = \left(\frac{P_{mm}}{mes} - 15 \right) * 0.75(mm) \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\text{Chaco: } Pe = \left(\frac{P_{mm}}{mes} - 20 \right) * 0.80(mm) \quad (\text{Ec. 7})$$

3.12.2 Cálculo del volumen requerido (Vr)

El volumen requerido por el cultivo está dado por la siguiente expresión:

$$Vr = ETc * A * 10 \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo
A = área de la superficie cultivada.

a) Cálculo del volumen cubierto por lluvias (Vc)

El volumen cubierto por lluvias está dado por la siguiente expresión:

$$Vc = Pe * A * 10 \quad (\text{Ec. 9})$$

Dónde:

Pe = Precipitación efectiva
A = área de la superficie cultivada.

3.13 Cálculo de las necesidades de agua del cultivo

¹²WWF (2009), indica que a la hora de regar el agricultor se enfrenta a una triple incógnita: cuando, como y cuanto regar. Estos interrogantes se han resuelto tradicionalmente en base a la experiencia adquirida. Teniendo en cuenta que el agua es un empleo, no es válido que decisiones tan importantes se tomen intuitivamente, máximo cuando existen metodologías contrastadas para la toma de decisión de riego.

Mediante diversas fórmulas matemáticas se calcula la evapotranspiración de referencia (ET_o), entendida como la pérdida de agua de un suelo cubierto por una pradera extensa de gramíneas en crecimiento activo, sombreando totalmente el suelo, segada a una altura de 8 a 15 cm y con un suministro de agua constante.

Para relacionar la ET_o con la evapotranspiración real (ET_c) de nuestro cultivo (dato que realmente nos interesa) se emplean los llamados coeficientes de cultivo (K_c), de tal forma que se cumpla:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

ET_c: evapotranspiración del cultivo
K_c: coeficiente del cultivo
ET_o: evapotranspiración de referencia.

Figura 14. Duración de etapas de crecimiento de los cultivos y fechas de siembra (días)

Cultivo	Inic. (Lini)	Des (Ldes)	Med. (Lmed)	Final (Lfin)	Total	Fecha de siembra
Papa	30	35	50	25	140	10-nov
Cebolla	30	55	55	40	180	13-oct
Haba	90	45	40	60	235	21-sep
Cebada	20	50	60	40	170	15-dic
Avena	20	50	60	40	170	15-dic

¹² WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza, es una organización mundial para la conservación de la naturaleza, Organización no Gubernamental, dedicada a la protección del medio ambiente)

Triticale	20	50	60	40	170	15-dic
Alfalfa	10	20	20	35	85	25-nov
Quinua	30	45	55	55	185	3-oct
Hortalizas	20	35	50	30	135	1-ago

Fuente: (FAO, 56)

Figura 15. Valores del coeficiente del cultivo, Kc y alturas máximas de las plantas

Cultivo	Kc Ini	Kc med	Kc fin	Altura Max del cultivo (m)
Papa	0,5	1,15	0,75	0,45
Cebolla	0,7	1	1	0,3
Haba	0,5	1,15	1,1	0,95
Cebada	0,3	1,15	0,25	1,1
Avena	0,3	1,15	0,25	1,2
Triticale	0,3	1,15	0,25	1,3
Alfalfa	0,4	0,95	0,9	0,6
Quinua	0,58	0,9	0,78	1
Hortalizas	0,7	1,05	0,95	0,5

Fuente: (FAO, 56)

Figura 16. Rangos de profundidad máxima efectiva de las raíces (Zr) y fracción de agotamiento de la humedad en el suelo (p)

Prof. Max. de la raíz (m)	Fracción de agotamiento (p)
0,40 - 0,60	0,35
0,30 - 0,60	0,3
0,5 - 0,7	0,45
1 - 1,5	0,55
1 - 1,5	0,55
1 - 1,5	0,55
1- 1,20	0,55
0,5 - 1	0,45
0,20 - 0,50	0,4

Fuente: (FAO, 56)

3.14 Consumo de agua de los animales

El agua, frecuentemente es un factor limitante en la producción ganadera en áreas áridas y semiáridas, en donde los rebaños y camélidos tienden a estar bajo condiciones de estrés debido a las altas temperaturas, alimentación de mala calidad y baja disponibilidad hídrica. (Casamassima *et al.*, 2008).

3.14.1 Consumo de agua de los ovinos

Los ovinos, al igual que todos los animales, requieren agua para vivir. Las necesidades de agua en ovinos son considerablemente menores que los bovinos. Siempre debe disponerse de agua fresca, ya sea en explotaciones en estabulación como en condiciones de pastoreo, en este último caso las fuentes de agua deben estar a no más 2 km del área donde las ovejas se encuentran pastando. El consumo de agua de los ovinos se ve afectado por una serie de factores, entre ellos el tipo y cantidad de MS del alimento consumido, la categoría de ovino y el estado fisiológico, la temperatura ambiental y la presencia de lluvia, rocío o nieve. En la figura 17, se muestran el consumo de agua del ovino en distintos estados fisiológicos y bajo diferentes temperaturas. (Jarrige, 1989).

Figura 17. Consumo de agua en ovinos de distintas categorías

Categoría de ovinos	Temperatura (°C)			
	15	20	25	30
Corderos en nacimiento	2	2,6	3	4
Ovejas, no preñadas	2,0 - 2,5	2,6 - 3,3	3,0 - 3,8	4,0 - 5,0
Ovejas en gestación tardía				
Con corderos únicos	3,0 - 3,5	3,9 - 4,6	4,5 - 5,3	6,0 - 7,0
Con corderos mellizos	3,5 - 4,5	4,6 - 5,9	5,3 - 6,8	7,0 - 9,0
Ovejas en lactancia				
Primer mes	4,0 - 4,5	5,2 - 5,9	6,0 - 6,8	8,0 - 9,0
Meses posteriores	3,0 - 4,0	3,9 - 5,2	4,5 - 6,0	6,0-8,0

Fuente: (Jarrige, 1989)

Como promedio, un ovino de 45 kg de peso vivo consume entre 3,5 a 4 L de agua/día, aunque no necesariamente tome a diario esa cantidad. Lo que comúnmente ocurre es que ingiere hasta 10 L/día y vuelve a beber agua un par de días después. Si el forraje predominante es muy seco, el consumo diario de agua aumenta considerablemente, al igual que las épocas más calurosas. (Romero & Bravo)

Figura 18. Requerimiento de agua para una oveja

Ovejas	Consumo	Unidades
Mantención	2 – 3,5	L/día
Lactando	4 - 7	L/día
Corderos	2	L/día

Fuente: Romero & Bravo

3.14.2 Consumo de agua de los camélidos

Los camélidos bajo condiciones de pastoreo en la región alto andina, durante la época seca se enfrentan a serias limitaciones de disponibilidad de forraje. Esta época corresponde a los meses de mayo a octubre, donde la precipitación pluvial es mínima y por lo tanto la producción de forraje se encuentra reducida. Aproximadamente el 75% de la precipitación pluvial se produce entre los meses de diciembre y marzo, coincidiendo con la máxima producción de forraje. (Ruiz, 2011).

Existen diversos factores externos e internos que influyen en el consumo de agua de las llamas o de cualquier especie animal, como: edad, estado fisiológico, influencias ambientales reinantes, calidad de la dieta forrajera, ingestión de sales, raza, etc. Sin embargo, los factores determinantes son el tipo de alimento y la temperatura ambiente. (Ruiz, 2011).

Según Martínez (2018), el consumo de agua en promedio es de 4 L/ 50 kg de peso vivo en el altiplano boliviano, dependiendo del lugar y las características de la región.

3.14.3 Consumo de agua del personal

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona debe consumir en promedio 100 litros de agua para satisfacer las necesidades tanto de consumo como de higiene.

Se estima que en el año uno cada persona en promedio no consumía más de 30 litros de agua por día. Hoy el consumo promedio es de aproximadamente 100 litros por persona al día, aunque este promedio está afectado por una varianza muy grande. Por ejemplo, en Bolivia el consumo de agua por persona va desde los 80 litros en ciertas regiones del occidente hasta 230 litros por día en el oriente del país. (La Razón Digital / Alejandro F. Mercado 00:24 /03 de diciembre de 2016).

Desde que se levanta hasta que se duerme el boliviano usa cantidades “excesivas” de este líquido, muchas veces por desconocimiento. El consumo depende de la zona geográfica, costumbres y climas, en el occidente normalmente se usan 85 litros y en el oriente puede llegar de 250 a 300 litros. La Razón (Edición Impresa) / Micaela Villa/ La Paz, 02:00 / 26 de octubre de 2015.

Figura 19. Gasto de agua de una persona

	Gasto	Unidad	Tiempo (min)
Inodoro	10-16	L	-
Ducha	60	L	15
Lavadora	50 - 200	L	-
Aseo	3	L	1

Fuente: Fundación Canaru

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

4.1.1 Ubicación geográfica

El Municipio de Patacamaya es la Quinta Sección de la Provincia Aroma del departamento de La Paz, se sitúa a una distancia de 101 kilómetros de la sede de gobierno, por la carretera interdepartamental La Paz – Oruro, al sudeste de la capital del Departamento de La Paz, el cantón de Patacamaya se encuentra a una altitud que oscila de 3785 a 3899 msnm. (PTDI, 2016-2020).

Patacamaya, geográficamente está situado entre las coordenadas: 17° 05' - 17° 20' de latitud sur, 67° 45' - 68° 07' de longitud oeste se encuentra ubicada al centro de la provincia Aroma, de acuerdo a las Cartas del Instituto Geográfico Militar. (PDM, 2006-2010).

La E.E. Patacamaya, dependiente de la facultada de agronomía UMSA, se sitúa a una distancia de 4.51 kilómetros del Municipio de Patacamaya.

La E.E. Patacamaya se encuentra en el cantón San Martín de Iquiaca del municipio de Patacamaya, de acuerdo a la Ley 4111 de 2001, transfiere de manera gratuita 500 hectáreas de la Gobernación de La Paz a la UMSA el 29 de octubre de 2016. <http://www.ruralytierras.gob.bo/index.php?in=318>

En la actualidad la E.E. Patacamaya administra 71.57 ha, para diferentes rubros como ser agricultura y ganadería.

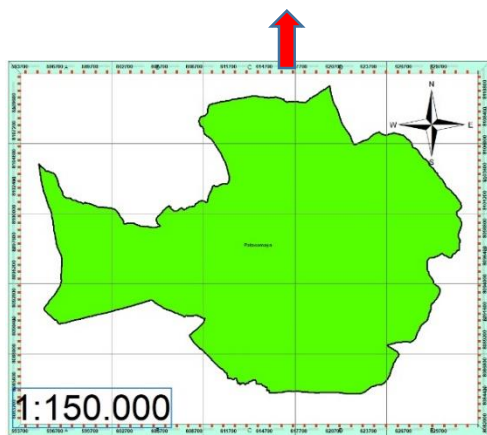
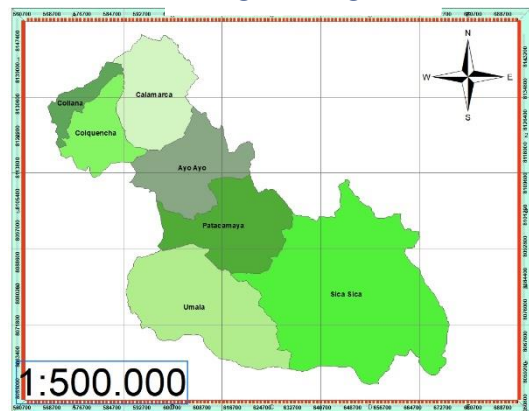
Figura 20. Ubicación geográfica de la Estación Experimental Patacamaya



ESTACION EXPERIMENTAL PATACAMAYA



PROV. AROMA



MUNICIPIO DE PATACAMAYA

Fuente: Elaboración propia (2019), con imagen de Google Earth Pro y ArcMap 10.2

4.1.2 Topografía

La E.E. Patacamaya tiene una topografía de 0 a 2% de pendiente, con el mayor porcentaje de la superficie es casi plana. (PTDI, 2016-2020).

4.1.3 Características climáticas

4.1.3.1 Clima

Los factores climatológicos están en función a la zona latitudinal a cada una de las zonas de la Tierra que dependen de su latitud y en las que los paralelos notables o principales dividen a la superficie terrestre. La variedad de relieves que presenta la cordillera occidental, la existencia de zonas planas, la circulación de los vientos y otros, que determinan características climatológicas propias de la región, que en general son frías. Durante el año se manifiesta una estación lluviosa que va de diciembre a marzo, la época seca de junio a agosto y sus correspondientes periodos de transición entre septiembre a noviembre. (PTDI, 2016-2020).

La región, presenta condiciones climáticas rigurosas, con un clima frío y seco de manera generalizada, temperaturas medias anuales que descienden drásticamente y precipitaciones medias anuales bajas, este aspecto es típico de estas zonas Altiplánicas. Asimismo, las direcciones de los vientos son variados, a esto se suma las ondulaciones existentes en diferentes lugares de Patacamaya, que condicionan esta situación de alguna manera. Por este mismo hecho existen formaciones de microclimas, con características propias en espacios relativamente grandes. (PTDI, 2016-2020).

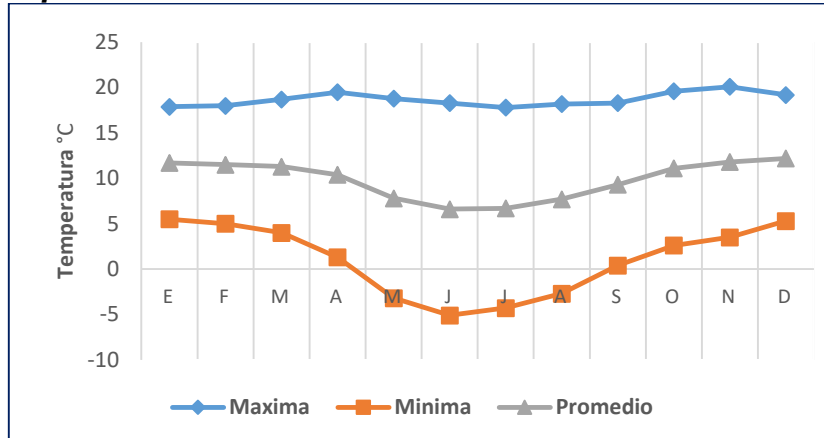
Dentro del municipio presentan dos microclimas identificados como Clima Semiárido de verano templado e invierno templado y Clima Subhúmedo Seco de verano e invierno cálido. (PTDI, 2016-2020).

4.1.3.2 Temperatura

La estacionalidad térmica es moderada. Durante el periodo 2006 a 2016 la temperatura media en el municipio fue de 9,7°C; siendo la temperatura máxima media alcanzada

de 18,7°C; mientras que la temperatura mínima media para el mismo periodo es de 0,7°C. (PTDI, 2016-2020).

Figura 21. Temperatura 2006-2016



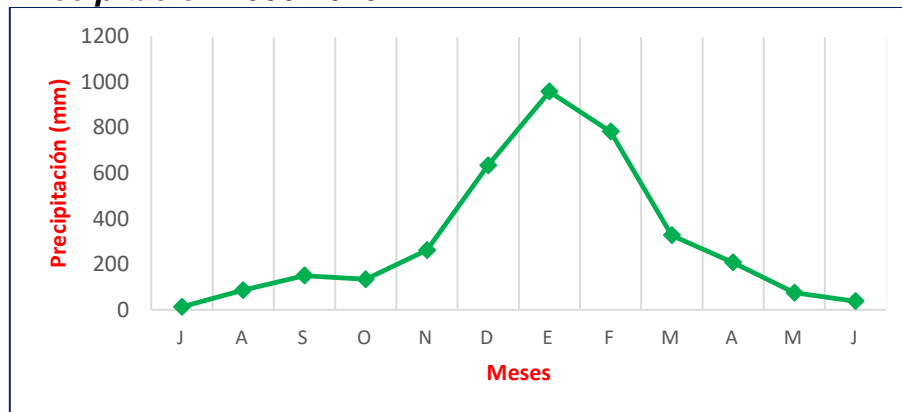
Fuente: PDM 2006-2016 en base a datos de SENAMHI

4.1.3.3 Precipitación pluvial

La distribución temporal de las precipitaciones pluviales es muy similar en todo el territorio, con un patrón decreciente de Norte a Sur, caracterizándose como un régimen típicamente mono modal con veranos húmedos e inviernos secos.

En términos estacionales se puede establecer el periodo lluvioso entre los meses de octubre a marzo que concentra más del 68% de las precipitaciones, y el periodo de estiaje entre los meses de abril a septiembre, siendo los meses de junio y julio los de menor precipitación anual. (PTDI, 2016-2020)

Figura 22. Precipitación 2006-2016



Fuente: PDM 2006-2016 en base a datos de SENAMHI

4.1.3.4 El Granizo

Es la precipitación de aguas solidificadas que se forma a una temperatura de 0°C, esto ocurre cuando la formación de las nubes es de cúmulonimbus 2000 a 4000 en la Plan de Desarrollo Municipal Patacamaya 2006 - 2010 16 atmósfera, es uno de los fenómenos naturales climáticos que causa serios daños en la agricultura, debido al impacto físico que presenta este tipo de precipitación con los cultivos. (PTDI, 2016-2020).

4.1.3.5 Heladas

La presencia de este fenómeno natural climático, ocasiona grandes efectos negativos en los diferentes cultivos del altiplano, en la cuenca del altiplano la ocurrencia de estas es muy frecuente, llegando a alcanzar 120 días de heladas al año (ZONISIG, 1998). Son pocas las estaciones que registran meses libres de heladas, en Patacamaya y Calamarca tienen de 4 a 5 meses libres. La ocurrencia de heladas coincide con el inicio de la época de crecimiento de las plantas, por lo que genera reducción en los rendimientos de los cultivos del lugar. (PTDI, 2016-2020).

4.1.3.6 Sequía

Este fenómeno natural, se presenta con mayor intensidad en gran parte del altiplano, la época seca es en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre durante estos meses se sufre la deficiencia de agua, situación que afecta a la agricultura, actividades domésticas, pecuarias y otras. La ocurrencia de sequías al igual que las heladas, tienen una tendencia a aumentar hacia el Sur del altiplano y hacia el occidente, siendo los periodos más susceptibles los meses de mayo a noviembre. (PTDI, 2016-2020).

4.1.4 Flora y Fauna

4.1.4.1 Flora

La composición florística en el Municipio está compuesta predominante por gramíneas perennes, alternadas con arbustos muy dispersos que se desarrollan durante el periodo lluvioso. (PTDI, 2016-2020).

a) Principales especies

La formación vegetal en el Municipio es de carácter xerofítico y composición florística variada. Las especies más comunes que se encuentran son los siguientes.

Figura 23. Especies nativas en la puna húmeda de Patacamaya y sus usos

Nombre Científico	Familia	Nómbre Común	Usos
<i>Horduem muticum</i>	Graminea	Cola de Ratón	Forraje
<i>Ephedra Americana</i>	Efedraceae	Sanu sanu	Medicinal
<i>Baccharis incarum</i>	Compositae	Ñak'a thola	Leña, medicinal
<i>Brassica campestris</i>	Cruciferaeae	Mostacilla	Medicinal
<i>Astragalus garbancillo</i>	Leguminosae	Garbancillo	Toxica, medicinal
<i>Erodium cicutarium</i>	Leguminosae	Yauri yauri	Alimento para ganado
<i>Tarasa tenella</i>	Malvaceae	Q'ora	Forraje
<i>Adesmia sp.</i>	Leguminosae	Añahuaya	Forrajera, mejoramiento de suelos
<i>Cactus</i>	Cactaceae	Pasacana	Construcción. Alimento humano
<i>Trifolium amabili</i>	Leguminosae	Layu layu	Forraje

Fuente: (PTDI, 2016-2020)

Figura 24. Especies forestal en área urbana

Nombre Común	Nombre Científico
Kiswara	<i>Budleja sp.</i>
Álamo	<i>Populus alba</i>
Pino	<i>Pinnus sp.</i>
Ciprés	<i>Cupresus macrocarpa</i>
Sauce llorón	<i>Salix Babilonica</i>

Fuente: (PTDI, 2016-2020)

4.1.4.2 Fauna

a). Principales especies

La biodiversidad de animales, depende de las características ecológicas del hábitat, en Patacamaya, existen diferentes especies los cuales se encuentran adaptadas a las inclemencias del tiempo (poca precipitación, frío) y la producción limitada de forrajes.

El municipio de Patacamaya, cuenta con una típica población de fauna del altiplano, constituida por especies nativas e introducidas que se detallan a continuación:

Figura 25. Principales especies distribuidas en puna húmeda

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Características
Cui, (Cuis)	<i>Cavia porcellu</i>	Roedor nativo, utilizado en la alimentación humana.
Halcón	<i>Falco sp.</i>	El hábitat de estos animales es los cerros altos.
Leke leke	<i>Vanellus resplendens</i>	Habita cerca los ríos y lagunas sus huevos son de consumo humano. Además esta especie es un indicador climático
Pato	<i>Anas flavirostris</i>	Aparece en época de lluvias, donde se forman lagunas y ríos temporales. No es perjudicial.
Zorro, (Khamakhe)	<i>Canis culpeus</i>	Es perjudicial para el productor por que ataca a los animales como la oveja y gallina, su hábitat son las laderas de los cerros y las pampas. Siendo a la vez un indicador climático.
Viscacha	<i>Lagidium viscacia</i>	La carne de este animal es de consumo humano, pero a la vez son perjudiciales por alimentarse de los cultivos de cebada, su hábitat son las laderas (cerros).

Fuente: (PTDI, 2016-2020)

Figura 26. Principales especies distribuidas en puna seca

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Características
Halcón	<i>Falco sp.</i>	El hábitat de estos animales es los cerros altos.
Perdiz	<i>Attagis gayi</i>	Es aprovechado la carne y el huevo, a la vez es considerado perjudicial por invadir los cultivos de papa y cebada, habitan en laderas (cerros)
Ratón	<i>Oryzomys sp.</i>	Habita en las viviendas, almacenes, causando serios problemas tanto en papa como en las cebadas, siendo estos su alimento.
Vicuña	<i>Vicugna vicugna</i>	Tiene fibra fina pero es considerada plaga debido a que se alimenta de pastos y cultivos.
Zorrino, (Añatuya)	<i>Conepatus rex</i>	Habita en las pampas, es considerado perjudicial por alimentarse de las gallinas, aunque es considerada la carne como medicina.

Zorro, *Canis culpeus* Es perjudicial para el productor por que ataca a los animales como la oveja y gallina, su hábitat son las laderas de los cerros y las pampas. Siendo a la vez un indicador climático.

Fuente: (PTDI, 2016-2020)

Figura 27. Reptiles en el municipio

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Nombre Nativo
Lagarto	<i>Leolaemus alticolor</i>	Jararanku
Vibora	<i>Vipera ssp.</i>	Asiru
Sapo	<i>Bufo spinulosus</i>	Jampatu

Fuente: (PTDI, 2016-2020)

Dentro del sistema de producción de los habitantes del área rural se tiene las especies domésticas, esto para la producción de carne, leche, huevo, fibra y animales de carga.

Figura 28. Especies domésticos

Nombre Común	Nombre Científico
Oveja	<i>Ovis aries</i>
Vaca	<i>Bos taurus</i>
Llama	<i>Lama glama</i>
Porcino	<i>Sus sp.</i>
Asno	<i>Equus asinus</i>
Aves de corral	<i>Gallus domesticus</i>

Fuente: (PTDI, 2016-2020)

4.2. Materiales

4.2.1 Equipos y materiales de campo

- Motobomba
- GPS Garmin
- Cinta métrica
- Cámara fotográfica digital
- Lignímetro

4.2.2 Material de gabinete

- Equipo de computación
- Planilla de registro
- Impresora
- Hojas electrónicas EXCEL

4.3 Metodología

Dentro de la metodología utilizada para la presente investigación, los métodos fueron cuantitativa, cualitativa y descriptiva orientadas a encontrar parámetros que permitan determinar los volúmenes y la calidad de agua del pozo subterráneo y superficiales.

4.3.1 Cantidad de agua

4.3.1.1 Inventario y caracterización de las fuentes de agua

La inventariación de los pozos, se realizó haciendo un recorrido por todo el predio de la estación, de forma visual y descriptiva utilizando un GPS garmin para la identificación de las fuentes de agua de la Estación Experimental Patacamaya, tanto pozos subterráneos y superficiales.

Para la caracterización de los pozos, una vez determinado las coordenadas de ubicación se realizó la descripción de los mismos, utilizando información primaria y secundaria previamente obtenida.

Figura 29. Levantamiento de la información primaria de los pozos subterránea y superficial de la E.E.P.

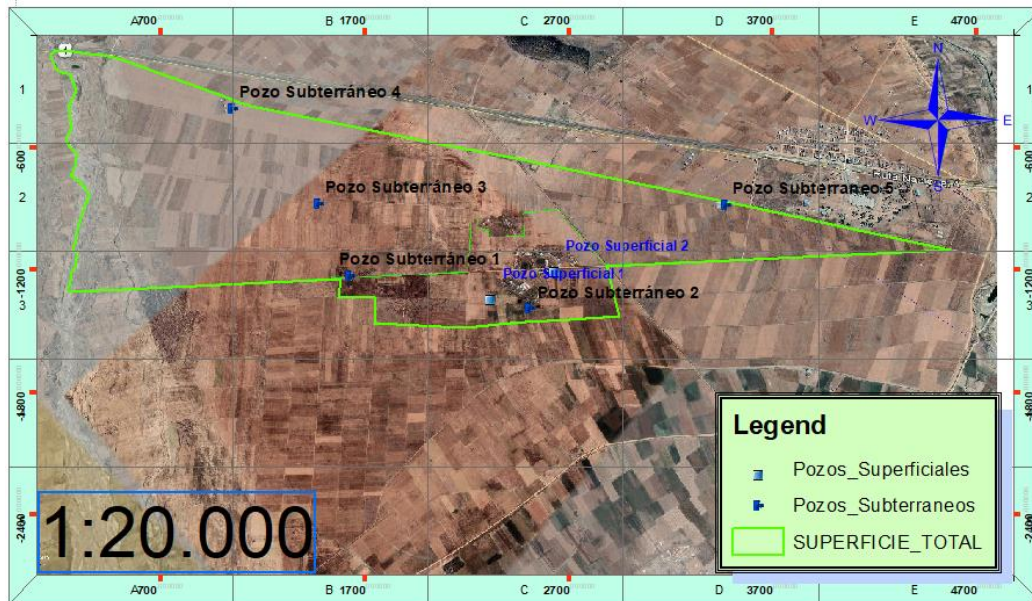


a) Información general del pozo subterráneo y superficial

Con el apoyo de un GPS y la experiencia de los trabajadores administrativos se hizo el recorrido del perímetro y las fuentes de agua, de la Estación, de esta manera se georreferenció y se ubicó de manera puntual los pozos subterráneos y superficiales, existentes para realizar el seguimiento en la cuantificación y determinación de calidad de agua.

- ❖ La E.E. Patacamaya cuenta con cinco pozos subterráneos, las cuales tienen una profundidad entre 30 y 70 metros encamisado con tubería galvanizada de seis pulgadas de diámetro.
- ❖ En la actualidad solo un pozo subterráneo da oferta hídrica para diferentes usos (Agropecuario) y los cuatro restantes no están en uso.
- ❖ Después de la intervención de las comunidades aledañas, en la década de los 90 fueron destruidas los pozos confinados y en la actualidad no tienen utilidad alguna tanto reservorios como las fuentes de agua. Además, se tienen inventariado dos pozos artesanales de siete metros de profundidad, como se muestran en la siguiente imagen con sus respectivas coordenadas.

Figura 30. Ubicación de los pozos



Fuente: Elaboración propia, (2019), con el apoyo de Arc Map 10.2, Google Earth Pro y GPS

De acuerdo a la Figura 30, se muestra las coordenadas geográficas de los pozos existentes e inventariados, donde los pozos subterráneos dos, tres, Cuatro y cinco se encuentran inutilizados por tanto no brindan ninguna oferta de agua, sin embargo, el pozo subterráneo uno, pozo superficial uno y dos son las que aportan volúmenes de agua para el uso agropecuario.

Figura 31. Ubicación georreferenciada de los pozos

Fuentes	x	y	Estado
Pozo subterráneo uno	17°16'44"	67°57'20"	En funcionamiento
Pozo subterráneo dos	17°15'80"	67°57'35"	Destrozado
Pozo subterráneo tres	17°15'21"	67°56'55"	Destrozado
Pozo subterráneo cuatro	17°15'30"	67°56'60"	Destrozado
Pozo subterráneo cinco	17°15'70"	67°57'71"	Destrozado
Pozo superficial uno	17°15'84"	67°56'74"	En funcionamiento
Pozo superficial dos	17°15'44"	67°56'89"	En funcionamiento

Fuente: Elaboración propia, (2019), con el apoyo de GPS garmin

b) Características de los pozos

En la Figura 31, se muestran las características de cada uno de los pozos que ofertan volúmenes de agua y que en ellas se analizó la calidad de agua.

Figura 32. Características de los pozos

Fuente	Prof (m)	Material de construcción	Diámetro	característica	Q de emisión	observaciones
Pozo subterráneo	70	Encamisado con tubería galvanizada	6 plg,	Pozo profundo	19,23 l/s	Impulsado con una electrobomba sumergible de capacidad de 15 HP
Pozo superficial uno	5,25	Hormigón ciclópeo	1,25 m	artesanal	0,018 l/s	Bombeado con Motobomba de 5 HP
Pozo superficial dos	6.50	Hormigón ciclópeo	1,05 m	artesanal	0,016 l/s	Bombeado con Motobomba de 5 HP

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a la información obtenida

Figura 33. Ubicación de los pozos que ofertan volumen de agua



Fuente: Elaboración propia, (2019), con el apoyo de Arc Map 10.2 y Google Eart Pro

En la Figura 33, se muestran la ubicación y coordenadas geográficas de los pozos que ofertan volúmenes de agua para el uso agropecuario.

Figura 34. Georreferenciación de los pozos que ofertan volúmenes de agua

Fuentes	x	y	Estado
Pozo subterráneo uno	17°16'44"	67°57'20"	En funcionamiento
Pozo superficial uno	17°15'84"	67°56'74"	En funcionamiento
Pozo superficial dos	17°15'44"	67°56'89"	En funcionamiento

Fuente: Elaboración propia (2019), con el apoyo de GPS garmin

c) Medición de volúmenes de agua de los pozos

- ❖ Para la evaluación del pozo subterráneo, se evaluó mediante el aforo del caudal, utilizando el método volumétrico.

Figura 35. Aforo del caudal



- ❖ Para la determinación de la cantidad de agua de los pozos superficiales se midió los volúmenes y la carga hidráulica, en la cual fue instalada un lignímetro graduado.

Figura 36. Lignímetro en el pozo superficial



- ❖ Se realizó el bombeo de agua de los pozos superficiales con equipo de motobomba
- ❖ Se midió la recarga de agua en los pozos superficiales.
- ❖ En los pozos superficiales uno y dos, la evaluación de recarga y volumen de agua se realizó en dos periodos, el primer periodo se bombeo el agua una vez a la semana y se midió la recarga en los mismos diariamente, (cada 24 horas) y en el segundo periodo el bombeo y la medición de recarga del agua se realizó

dos veces a la semana, (cada 72 horas), para la cuantificación de volúmenes de agua.

4.3.2 Calidad de agua

Para la evaluación de calidad de agua se estableció el monitoreo de los pozos. Para realizar las estrategias de muestreo de forma adecuado los mismos, se siguió los protocolos para una clasificación acorde a los objetivos de investigación, análisis físico y químico. Considerando su utilidad para consumo humano, ganadería y agropecuario

4.3.2.1 Toma de muestras de agua

a) Para el análisis químico se tomaron las muestras de agua, sin tratamiento ni adición de conservantes, cumpliendo el siguiente procedimiento.

- ❖ Para la toma de muestras de agua se utilizó botellas pett previa limpieza con la misma agua de los pozos.
- ❖ Se evitó la cámara de aire en las botellas pett para no alterar las muestras en el análisis de laboratorio.
- ❖ Posterior a ello se realizó el respectivo Etiquetado de las muestras de agua, perfectamente identificada, el origen, localización (coordenadas geográficas) y fecha.
- ❖ Las muestras se enviaron para su respectivo análisis al laboratorio de IBTEN.

4.3.3 Proyección agropecuaria

Para realizar la proyección agropecuaria, dentro de la Estación Experimental Patacamaya, se georreferencio con GPS, Google Earth Pro y ArcMap 10.2 para determinar las superficies (Áreas).

Para la proyección agropecuario se basó en la información de ¹³PDEEP, que en la ganadería como en agropecuario tienen metas cada cinco años, las cuales son parámetros o metas de la E.E. Patacamaya, de acuerdo al número de animales y hectáreas de los forrajes, tomando en cuenta las siguientes acciones:

¹³ PDEEP: plan de desarrollo de la Estación Experimental Patacamaya 2019 - 2023

- ❖ Se realizó el análisis hidrológico de la zona en base a la técnica del balance hídrico (oferta y demanda). El volumen de almacenamiento y el caudal de los pozos subterráneo y superficiales.
- ❖ En la ganadería se cuantifico el número de cabezas de ganado que existen como ser, Ovinos y Camélidos, las cuales se toman en cuenta los remates cada gestión.
- ❖ Para el agropecuario se delimito la superficie de la E.E. Patacamaya identificando los cultivos a campo abierto de la E.E. Patacamaya, los cuales son papa, quinua, alfalfa, cebada, Haba, Cebolla.

Para el requerimiento de agua de los cultivos se utilizó la herramienta de Software de CLIMWAT y CROPWAT 8.0 de la FAO, realizando el historial de los cultivos de la E.E. Patacamaya.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar una correcta interpretación y posterior discusión de los resultados obtenidos en la presente investigación, es necesario conocer aquellos factores ambientales y climáticos, características de la zona que se tomaron en cuenta de manera directa en la evaluación del recurso hídrico para una proyección agropecuaria.

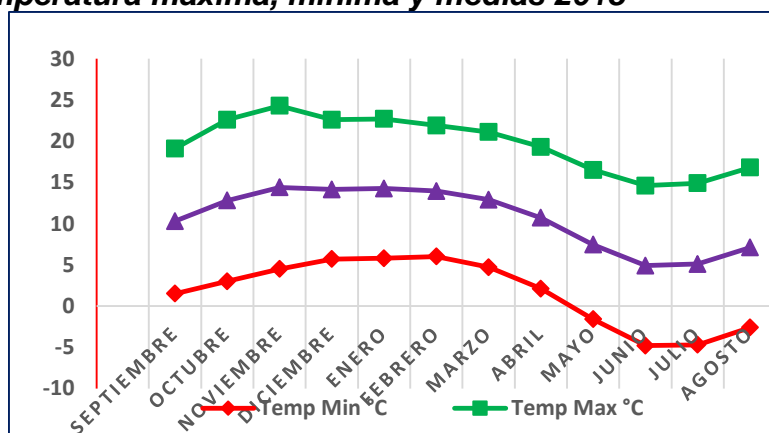
5.1 Comportamiento climatológico

En base a la información obtenida de la Estación Climática SENAMHI y CLIMWAT de la FAO, se presenta los parámetros climáticos, como la variación de temperaturas y precipitación pluvial.

5.1.1 Temperatura

En la Figura 37, se observa la variación de temperaturas máximas, mínimas y media registradas durante el periodo de la investigación, donde la temperatura máxima registró de 24,3 °C para el mes de noviembre, mientras una temperatura mínima de -4,8 °C en el mes de junio y las temperaturas medias fluctúan entre 10,65 °C.

Figura 37. Temperatura máxima, mínima y medias 2018

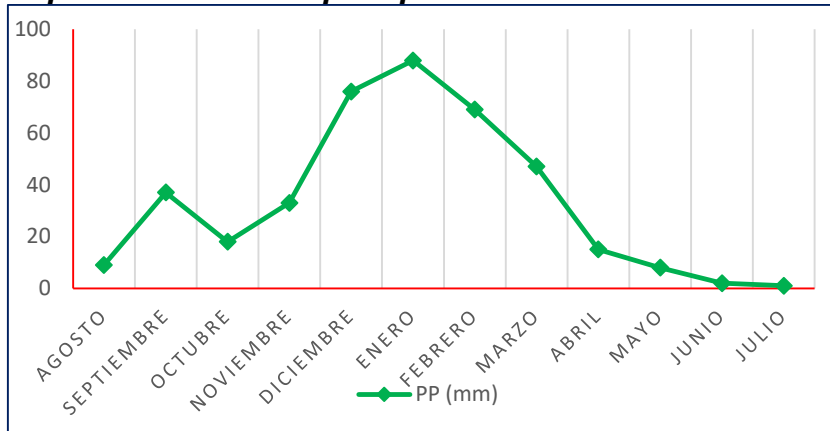


Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y CLIMWAT

5.1.2. Precipitación

En la Figura 38, se presenta la curva de precipitación registrada, donde muestra el pico más alto en el mes de enero con **88 mm** y la menor precipitación se registra en el mes de Julio con **1 mm**, estas precipitaciones se atribuyen a las características climáticas propias del Altiplano Central.

Figura 38. Comportamiento de la precipitación 2018



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y CLIMWAT

5.2 Resultados cantidad de agua

La cantidad de agua que se extrae, (bombeo) de los pozos subterráneo y superficiales, se debe a las características físicas del suelo, profundidad y la fuente de alimentación o zonas de recarga.

5.2.1 Oferta de agua del pozo subterráneo

La evaluación del pozo subterráneo, se realizó en épocas críticas, (octubre y noviembre) para dar seguimiento y tener los datos más reales para cuantificar los volúmenes de agua y los resultados se detallan en los siguientes puntos.

Figura 39. Pozo subterráneo y su reservorio circular



Figura 40. Características del pozo subterráneo

Características	Medida	Unidad
Diámetro	6	Plg
Potencia de electrobomba	10	HP
Profundidad (m)	70	m
Tiempo de bombeo	1	Hora
Volumen de almacenamiento (m ³)	69,24	m ³
Caudal de salida del pozo subterráneo	19,23	L/s

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

5.2.1.1 Oferta de agua por día

El bombeo del pozo subterráneo es a través de una electrobomba sumergible de 15 HP, en la cual, se evaluó dos veces al día, el primer bombeo por la mañana y la otra por la tarde, cuantificando el volumen de 138,48 m³ en un tiempo de 2 horas en la cual inferimos con un caudal de 19,23 L/s, como se describe en la Figura 40.

5.2.1.2 Oferta de agua por semana

Cuantificando el volumen, tomando en cuenta las zonas de recarga del pozo, por semana se bombea (extrae) seis veces, obteniendo un total de 415,44 m³/semana.

5.2.1.3 Oferta de agua por mes

Cuantificando el volumen de agua por mes, tomando en cuenta siete días de uso de agua por semana, el bombeo de agua, en los meses donde se realiza el riego de los forrajes (alfalfa, cebada), se bombea 40 veces en la cual se obtiene un volumen de **2769,6 m³/mes**, sin embargo, en época de invierno por las bajas temperaturas se llega a bombear ocho veces para el uso del personal de la estación y ambientes atemperados, cocina, ganadería un volumen de **553,92 m³/mes**.

Figura 41. Oferta de agua por época

Época	N° de bombeo	Volumen (m³/mes)
Verano	40	2769,6
Invierno	8	553,92

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

5.2.2 Pozos superficiales

5.2.2.1 Pozo superficial uno

Tiene una profundidad de 6,10 metros con 1,25 metros de diámetro, en la cual las propiedades físicas del suelo, zonas de recarga (fuente de alimentación) y la altura de recarga de agua influye en la cuantificación de volumen de agua.

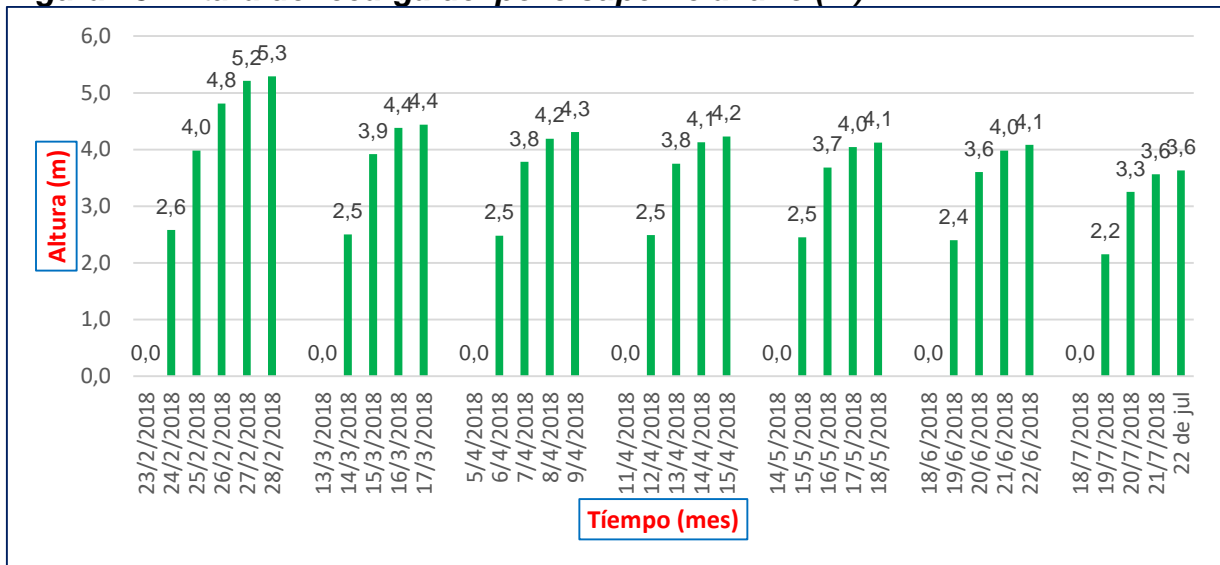
Figura 42. Pozo superficial uno



a) Evaluación del pozo superficial uno en el primer periodo

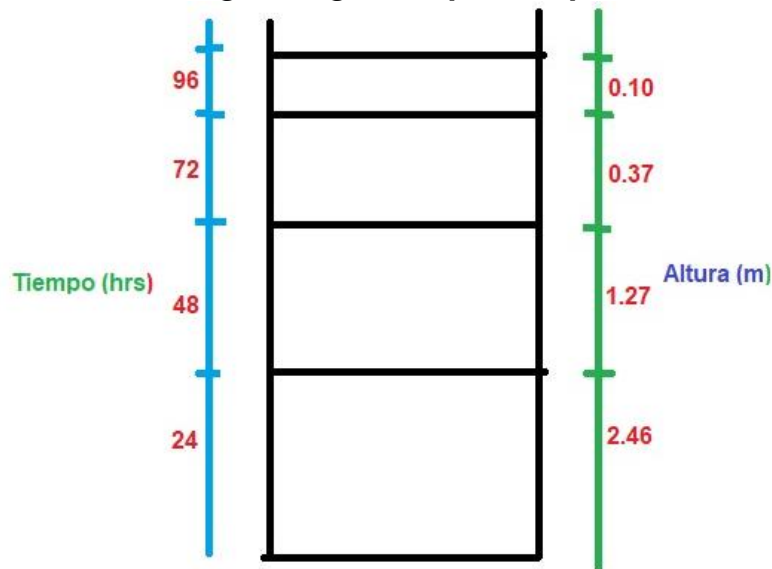
La evaluación se realizó entre los meses de febrero a julio, en donde se bombeo una vez por semana y las medidas de recarga de agua y el volumen se tomaron cada 24 horas y los resultados se muestran en la siguiente Figura.

Figura 43. Altura de recarga del pozo superficial uno (m)



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

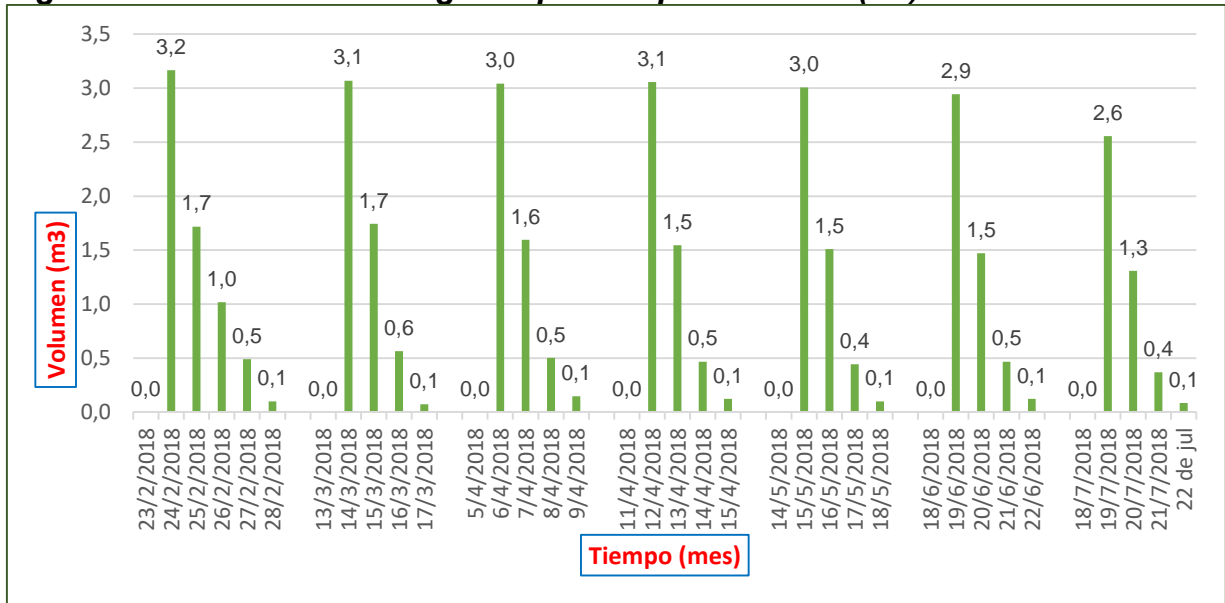
Figura 44. Altura de recarga de agua del pozo superficial uno



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

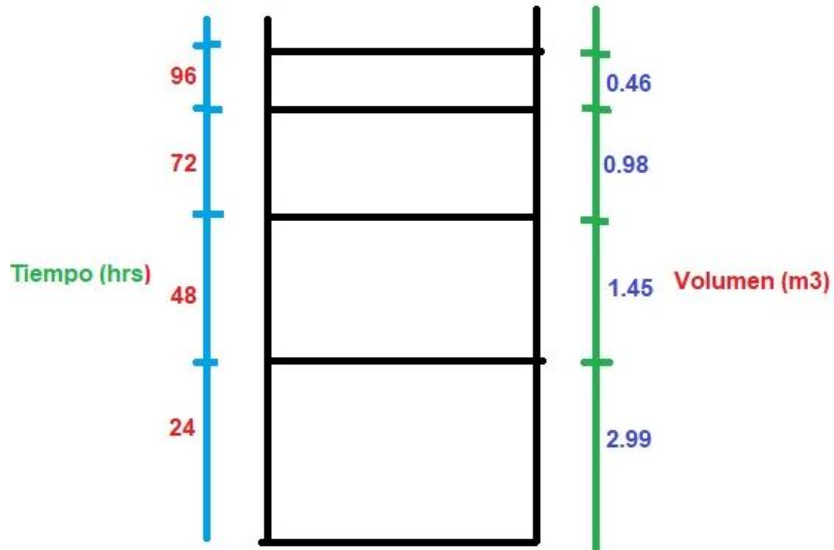
La altura de recarga de agua en promedio es de 2,46 3,73 4,16 y 4,27 metros, (**2,46 1,27 0,37 y 0,10 metros**) en un tiempo de 24, 48, 72 y 96 horas, a medida que aumenta la carga hidráulica la recarga de agua disminuye, como se observa en la Figura 43 y 44. La recarga de agua en los pozos superficiales depende de las características físicas y químicas del suelo como menciona. (Arocha, 1980) y (Blarasin & Cabrera 2005)

Figura 45. Volumen de recarga del pozo superficial uno (m³)



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

Figura 46. Volumen de recarga del pozo superficial uno



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

El volumen de agua es de 2,99 1.54 0,56 y 0,1 m³, (**2,99 1,45 0,98 y 0,46 m³**) en un tiempo de 24, 48, 72 y 96 horas, a medida que aumenta la carga hidráulica la recarga de agua disminuye, como se observa en la figura 45 y 46. La recarga de agua en los pozos superficiales depende de las características físicas y químicas del suelo como menciona. (Arocha, 1980) y (Blarasin & Cabrera, 2005)

a.1) Oferta de agua en función del tiempo

Figura 47. Volumen de agua en el pozo superficial uno

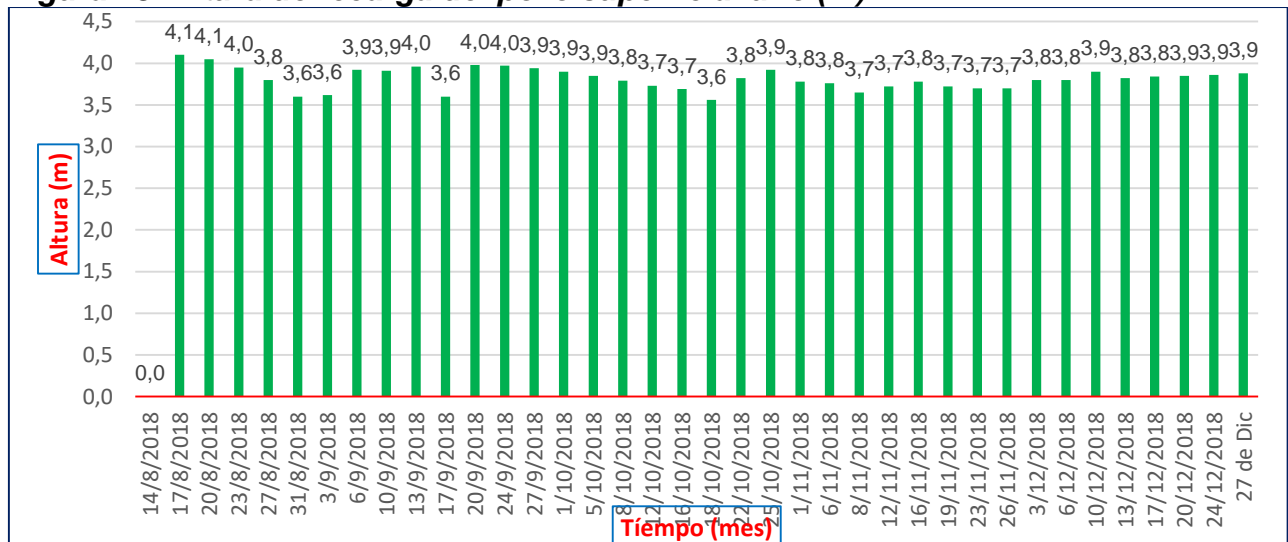
Fuente	Oferta de agua por semana	Oferta de agua por mes
Pozo superficial uno	5,3 m ³	21,03 m ³

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

b) Evaluación del pozo superficial uno en el segundo periodo

En el pozo se evaluó entre los meses agosto a diciembre, con una frecuencia de dos veces el bombeo (extracción) y medición de recarga de agua en la semana.

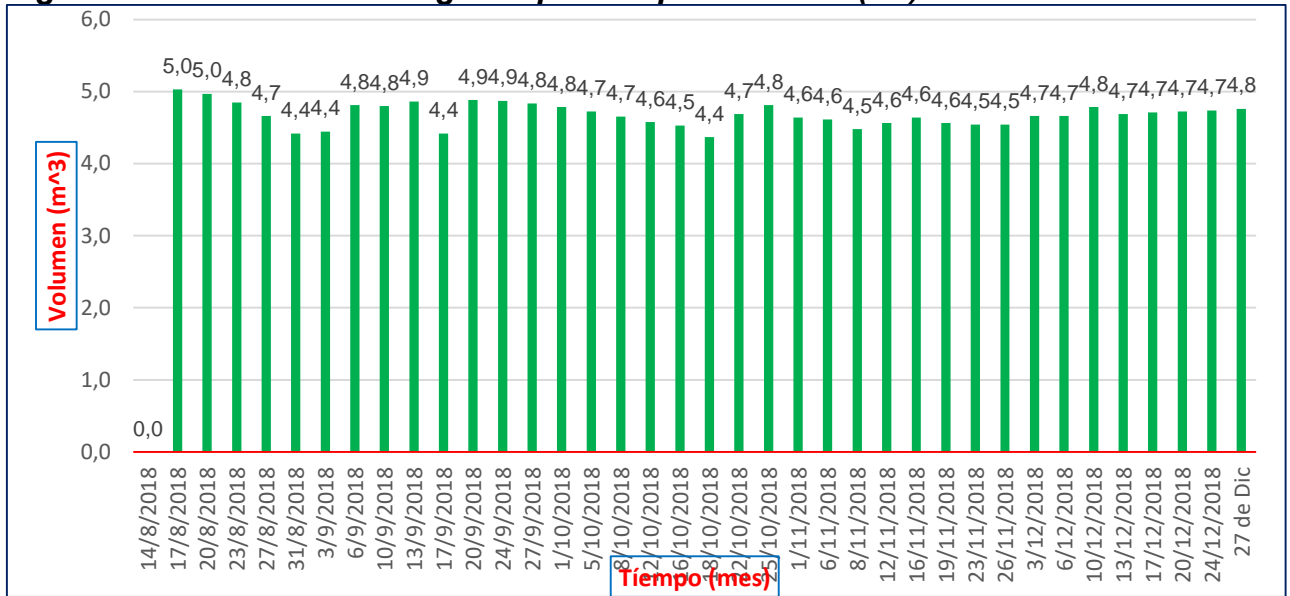
Figura 48. Altura de recarga del pozo superficial uno (m)



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

Como se observa en la Figura 48, la altura de recarga en el pozo superficial uno está en un promedio de 3,73 metros en un tiempo de 72 horas. La recarga del agua en el pozo depende de las propiedades físicas y químicas del suelo, fuente de alimentación y profundidad, como menciona. (Arocha, 1980) y (Blarasin & Cabrera, 2005).

Figura 49. Volumen de recarga del pozo superficial uno (m³)



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

Al realizar el bombeo y medición de volumen de agua cada tres días, tras el seguimiento en la fuente de agua, la recarga de agua en las 72 horas tiene un volumen promedio de 4,6 m³. La recarga del agua en el pozo depende de las propiedades físicas y químicas del suelo, fuente de alimentación y profundidad, como menciona. (Arocha, 1980) y (Blarasin & Cabrera, 2005).

b.1) Oferta de agua en función del tiempo

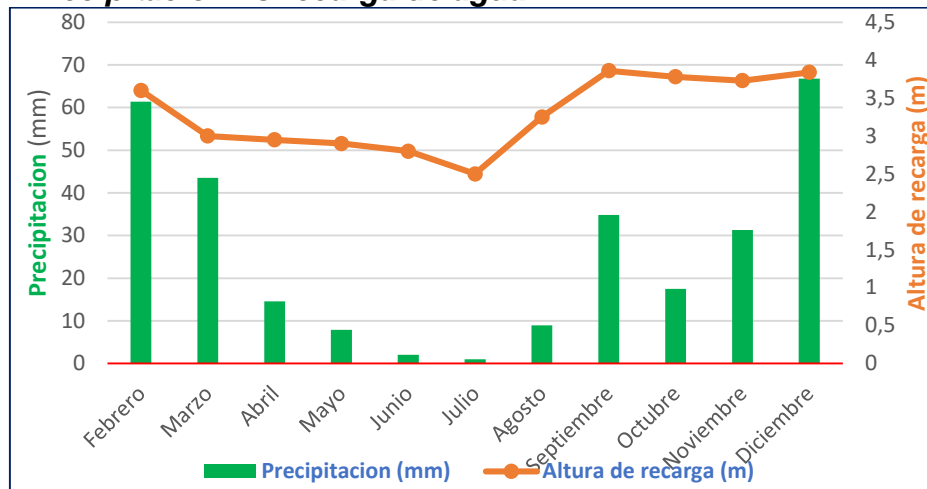
Figura 50. Volumen de agua en el pozo superficial uno

Fuente	Oferta de agua por semana	Oferta de agua por mes
Pozo superficial uno	9,2 m³	36,8 m³

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

c) Histogramas del pozo superficial uno

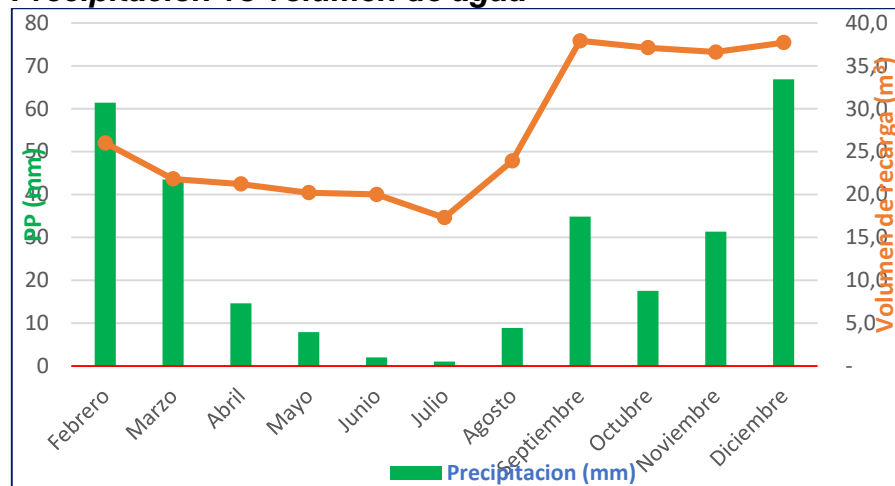
Figura 51. Precipitación vs recarga de agua



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

La altura de recarga de agua en el primer periodo se estabiliza hasta el mes de julio realizando el bombeo una vez por semana, sin embargo, desde el mes de agosto aumenta la altura de recarga de agua, debido a que se realizó dos veces el bombeo por semana tal como se observa en la Figura 51. La infiltración, intensidad de la lluvia y propiedades físicas del suelo afectan en la recarga de agua, como describe. (FAO, 2013).

Figura 52. Precipitación vs volumen de agua



Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo

El volumen de agua en el primer periodo se estabiliza hasta el mes de julio realizando el bombeo una vez por semana, sin embargo, desde el mes de agosto aumenta el

volumen de agua, debido a que se realizó dos veces el bombeo por semana tal como se observa en la Figura 52. La infiltración, intensidad de la lluvia y propiedades físicas del suelo influyen como describe. (FAO, 2013).

5.2.3.2 Pozo superficial dos

Tiene una profundidad de 6,25 metros con 1,15 metros de diámetro, y los resultados de recarga y volumen de agua se muestran a continuación:

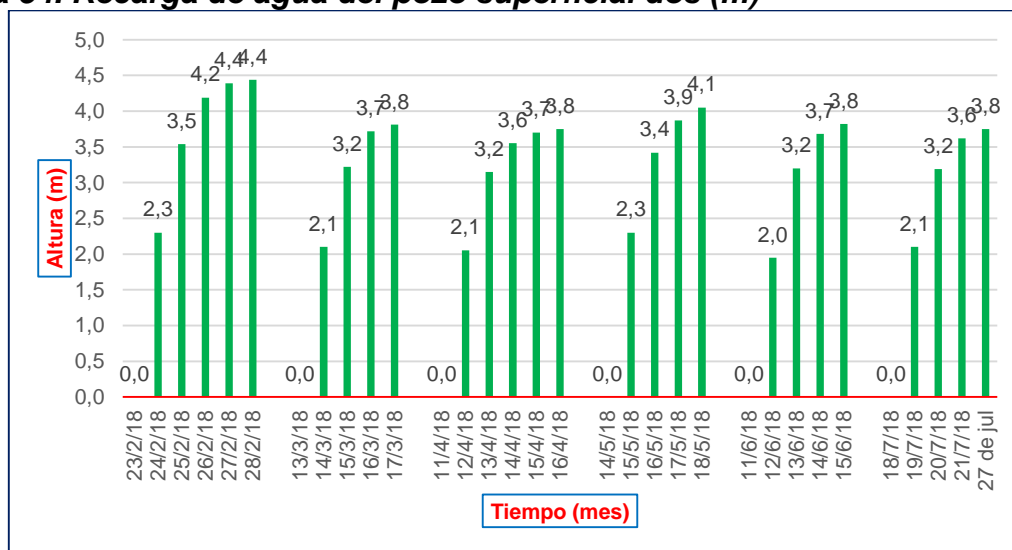
Figura 53. Pozo superficial dos



a) Evaluación del pozo superficial dos en el primer periodo

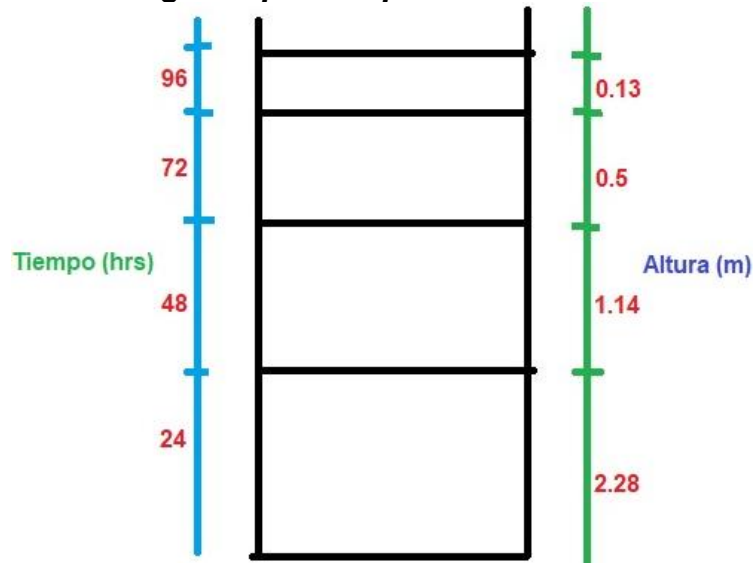
La evaluación de recarga y cuantificación de volumen se realizó entre los meses de febrero a julio, efectuando el bombeo dos veces a la semana y midiendo la recarga y volumen de agua, cada 24 horas y los resultados se muestran a continuación:

Figura 54. Recarga de agua del pozo superficial dos (m)



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

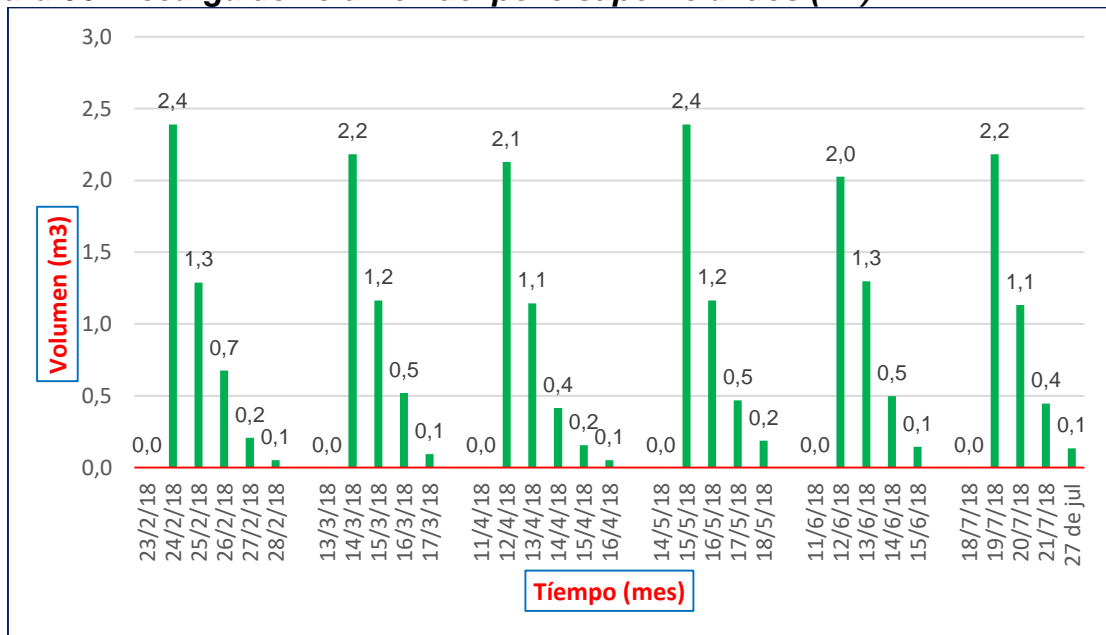
Figura 55. Altura de recarga del pozo superficial dos



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

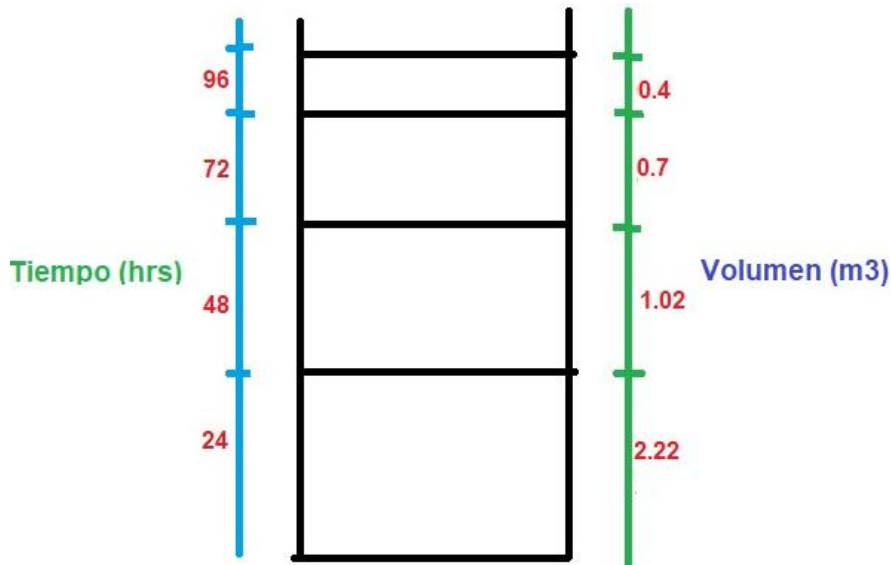
La altura de recarga de agua en promedio es de 2,28 3,42 3,92 y 4,05 metros, (**2,28 1,14 0,5 y 0,13 metros**) en un tiempo de 24, 48, 72 y 96 horas, a medida que aumenta la carga hidráulica la recarga de agua disminuye, como se observa en la figura 54 y 55. La recarga de agua en los pozos superficiales depende de las características físicas y químicas del suelo como lo menciona. (Arocha, 1980).

Figura 56. Recarga de volumen del pozo superficial dos (m³)



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

Figura 57. Volumen de recarga del pozo superficial dos



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

El volumen de agua es de 2,22 1,20 0,5 y 0,1 m³, (**2,22 1,02 0,7 y 0,4 m³**) en un tiempo de 24, 48, 72 y 96 horas como se muestra en las Figuras 56 y 57, el volumen de agua está en función a la altura de agua en el pozo y las propiedades físicas y químicas del suelo, como menciona. (Arocha, 1980)

a.1) Oferta de agua en función del tiempo

Figura 58. Volumen de agua en el pozo superficial dos

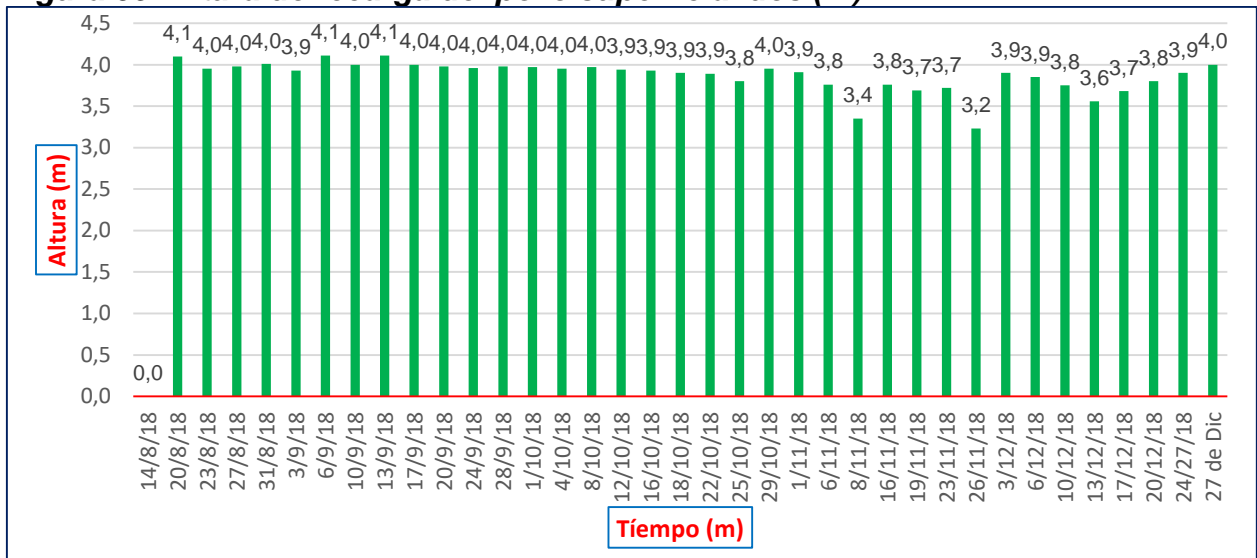
Fuente	Oferta de agua por semana	Oferta de agua por mes
Pozo superficial dos	4,1 m ³	16,4 m ³

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

b) Evaluación de agua del pozo superficial dos en el segundo periodo

La evaluación de recarga y volumen de agua se realizó entre los meses de agosto a diciembre, realizando el bombeo y registro de los datos de recarga cada tres días y los resultados se muestran a continuación:

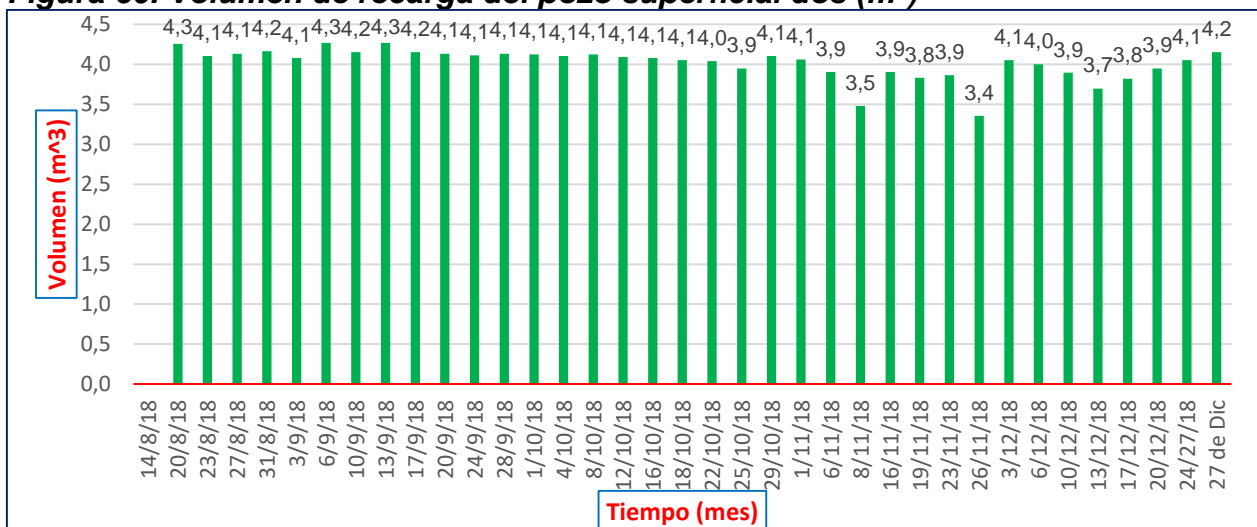
Figura 59. Altura de recarga del pozo superficial dos (m)



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

Como se observa en la figura 59, la altura de recarga en el pozo superficial dos está en promedio de 3,8 metros en un tiempo de 72 horas. La recarga del agua en el pozo depende de las propiedades físicas y químicas del suelo como lo menciona. (Arocha, 1980).

Figura 60. Volumen de recarga del pozo superficial dos (m³)



Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

Al realizar el bombeo y medición de volumen de agua cada tres días, tras el seguimiento en la fuente de agua, la recarga de agua en las 72 horas tiene un volumen promedio de **3.65 m³**.

b.1) oferta de agua en función del tiempo

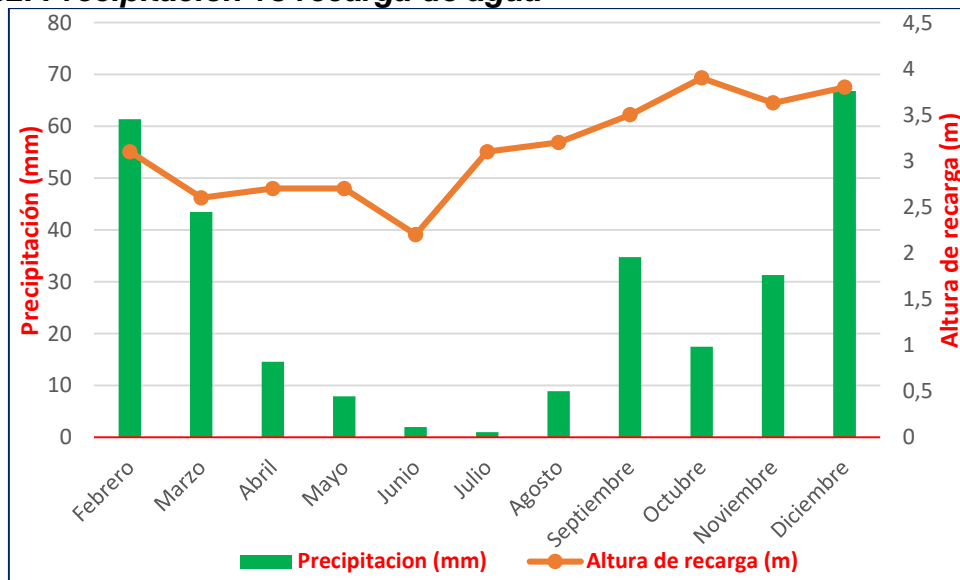
Figura 61. Volumen de agua en el pozo superficial dos

Fuente	Oferta de agua por semana	Oferta de agua por mes
Pozo superficial dos	7,3 m3	29,2 m3

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo

c) Histogramas del pozo superficial dos

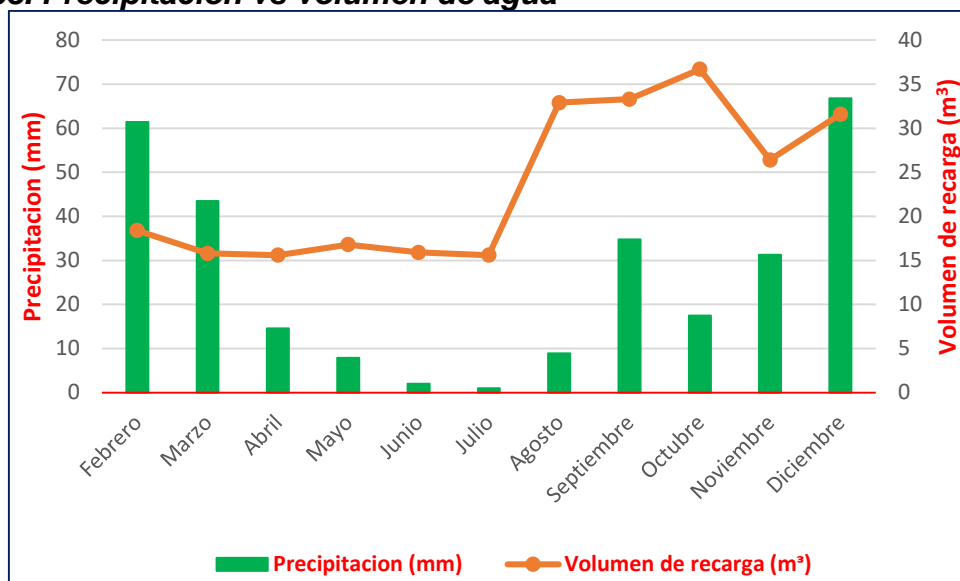
Figura 62. Precipitación vs recarga de agua



Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo

La altura de recarga de agua en el primer periodo se estabiliza hasta el mes de mayo teniendo una variación en los meses de junio y julio realizando el bombeo una vez por semana, sin embargo, desde el mes de agosto aumenta la altura de recarga de agua, debido a que se realizó dos veces el bombeo por semana tal como se observa en el Figura 62. La infiltración, intensidad de la lluvia y propiedades físicas del suelo influyen como describe. (FAO, 2013).

Figura 63. Precipitación vs volumen de agua



Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo

El volumen de agua en el primer periodo se estabiliza hasta el mes de junio realizando el bombeo una vez por semana, sin embargo, desde el mes de agosto aumenta la altura de recarga de agua, debido a que se realizó dos veces el bombeo por semana tal como se observa en la Figura 63. La infiltración, intensidad de la lluvia y propiedades físicas del suelo influyen como describe. (FAO, 2013).

5.3 Oferta de agua

La oferta de agua de las tres fuentes de agua para el uso agropecuario para la E.E. Patacamaya es la siguiente:

Figura 64. Oferta de agua por mes de los pozos (m³/mes)

Fuente	Cantidad
Pozo subterráneo	2769,6
Pozo superficial uno	36,8
Pozo superficial dos	29,2
Total	2835,6

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo

El volumen de agua que se obtiene por mes de las tres fuentes, para el uso agropecuario de la E.E. Patacamaya, en promedio es de **2835,6 m³/mes**.

5.4 Resultados de calidad del agua

5.4.1 Análisis de agua

Para el análisis de agua, se identificó los pozos que están en funcionamiento y que brindan volúmenes de agua para el desarrollo agropecuario, por ello primeramente el agua utilizada del pozo subterráneo de 70 metros de profundidad, está destinado para consumo humano, área agricultura y ganadería, mientras los pozos superficiales uno y dos no tienen usos para consumo humano, es destinado para agropecuario.

Figura 65. Resultados de análisis de agua del laboratorio de IBTEN

Parámetros	RESULTADOS			Unidades
	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos	
Sólidos Totales	389,33	800,23	759	mg/L
Sólidos Disueltos	387,86	798,84	758,5	mg/L
Sólidos Suspendidos	0,20	1,20	0,20	mg/L
pH	6,79	8,39	8,33	
Conductividad eléctrica	550,00	1291,00	1020,00	µS/Cm
CATIONES				
Sodio	91,74	96,54	59,28	mg/L
Potasio	7,23	13,93	15,32	mg/L
Calcio	13,31	105,22	109,77	mg/L
Magnesio	3,24	18,28	17,32	mg/L
ANIONES				
Sulfatos	26,29	280,83	133,6	mg/L
Cloruros	76,18	124,88	131,84	mg/L
Carbonatos	0,00	0,00	0,00	mg/L
Bicarbonatos	131,43	135,16	258,62	mg/L
Boro	0,47	0,33	0,84	mg/L

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

5.4.1.1 Parámetros de primer grado

a) pH del agua

Figura 66. pH del agua

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
pH	6,79	8,39	8,33

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del laboratorio IBTEN

Los análisis de laboratorio reportan valores de pH en el pozo subterráneo, superficial uno y dos con valores de 6,79 8,39 y 8.33 respectivamente, lo cual se clasifica el pozo subterráneo como agua **neutra**, y los pozos superficiales uno y dos, **ligeramente alcalino**, y es apta para el consumo humano y agropecuario como mencionan. (CONAGUA, 2013) & (Terrón., 2002).

b) Conductividad eléctrica (C.E.)

Figura 67. Conductividad eléctrica

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	550,00	1291,00	1020,00

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

Los resultados del pozo subterráneo tiene un valor de 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el cual nos indica un riesgo medio y se clasifica como agua apta para riego, sin embargo los pozos superficiales uno y dos tienen un valor de 1291,00 y 1020,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tienen riesgo alto, y tiene restricción para el uso de riego, como mencionan. (FAO, 1985), (James *et al.*, 1982) & (Canovas, 1986).

c) Sólidos disueltos totales (S.D.T.)

Figura 68. Sólidos disueltos totales

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
Sólidos Totales (S.D.T.). (mg/L)	389,33	800,23	759

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

El valor del pozo subterráneo es de 389,33 mg/L, el cual se establece que no tiene restricción para el uso de riego. Mientras que los pozos superficiales uno y dos tienen una concentración de 800,23 y 759,00 mg/L, las cuales se establece que tiene restricción moderada para el uso del riego, como indican. (Patil, 2012), (Páez-Sánchez et al. 2013), (James et al., 1982) & (FAO, 1985).

5.4.1.2. Contenido de cationes

a) Sodio

Figura 69. Sodio

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
Sodio (mg/L)	91,74	96,54	59,28

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

Los resultados de los pozos subterráneo, superficial uno y dos tienen los valores de 91,74 96,54 y 59,28 mg/L respectivamente los cuales no permeabilizara los suelos ni dificultara problemas en los cultivos, están en el rango aceptable, como mencionan la ¹⁴OPS y ¹⁵OMS.

b) Potasio

Figura 70. Potasio

fuelle	pozo subterráneo	pozo superficial uno	pozo superficial dos
Potasio (mg/L)	7,23	13,93	15,32

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

Los resultados de los pozos subterráneo, superficiales uno y dos, tienen los valores de 7,23 13,93 y 15,32 mg/L respectivamente los cuales afectaran a los cultivos en las primeras fases del cultivo, como indican los autores, (Ayers & Westcot, 1985).

¹⁴ OPS: Organización Panamericana de la Salud

¹⁵ OMS: Organización Mundial de la Salud

c) Calcio

Figura 71. Calcio

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
Calcio (mg/L)	13,31	105,22	109,77

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

El valor de calcio en los pozos subterráneos, superficiales uno y dos, es de 13,31 105,22 y 109,77, el cual nos indica que está en el parámetro, y que no afectara en las propiedades físicas del suelo, como indica. (Monge, 2018).

d) Magnesio

Figura 72. Magnesio

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
Magnesio (mg/L)	3,24	18,28	17,32

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

Los valores del magnesio del pozo subterráneo, superficial uno y dos son de 3,24 18,28 y 17,32, beneficia en el desarrollo de los cultivos, y además el cual nos indica que está en el rango. Como menciona. (Monge, 2018) & (IBNORCA NB512, 1997).

5.4.1.3. Contenido de aniones

a) Sulfatos

Figura 73. Sulfatos

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
Sulfatos (mg/L)	26,29	280,83	133,6

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

De acuerdo al análisis de laboratorio, los pozos subterráneo y superficial dos tienen valores de 26,29 y 133,6 mg/L el cual no afecta en el desarrollo del cultivo ni tampoco salinizará el suelo. Sin embargo, el pozo superficial uno tiene un valor de 280,83 mg/L

el cual perjudica moderadamente el normal desarrollo del cultivo y también salinizará en menor cantidad el suelo, como indica la norma chilena 1333

b) Cloruros

Figura 74. Cloruros

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
Cloruros (mg/L)	76,18	124,88	131,84

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

Los resultados de análisis de laboratorio del pozo subterráneo, superficial uno y dos tienen valores de 76,18 124,88 y 131,84 mg/L no causará problemas en los cultivos, debido que los resultados del análisis de laboratorio se encuentran por debajo del límite permisible. Como lo indica la norma chilena 1333 & (Phocaidés., 2000).

c) Carbonatos y bicarbonatos

Figura 75. Carbonatos y bicarbonatos

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
Carbonatos (mg/L)	0,00	0,00	0,00
Bicarbonatos (mg/L)	131,43	135,16	258,62

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

No existen carbonatos en los pozos subterráneo, superficial uno y dos. Sin embargo, existen la presencia de bicarbonatos de 131,43 135,16 y 258,62 mg/L, el cual nos indica que se pueden utilizar para el riego. Tomando en cuenta los valores de pH en los pozos superficiales uno y dos como mencionan. (FAO, 1985), (Compo, 2014) y la norma chilena 1333.

d) Boro

Figura 76. Boro

Fuente	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
Boro (mg/L)	0,47	0,33	0,84

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del Laboratorio IBTEN

De acuerdo al análisis de laboratorio el contenido de boro en los pozos subterráneo, superficial uno y dos tienen valores de 0,47 0,33 y 0,84 mg/L, está por debajo del valor permitido y no causara problemas en los cultivos. Como mencionan la ley 1333, (MDSMA, 1995) & (Phocaides, 2000).

5.4.1.4 Riesgo de acumulación de sodio (RAS)

El RAS se calcula con la Ec. 1 tomando en cuenta los cationes de los análisis de laboratorio de IBTEN.

Figura 77. Conversión de unidades de mg/L a meq/L

Parámetro	Fuente	mg/L	meq/L
Ca	Pozo subterráneo	13,31	0,66
	Pozo superficial uno	105,22	5,25
	Pozo superficial dos	109,77	5,48
Mg	Pozo subterráneo	3,24	0,27
	Pozo superficial uno	18,28	1,50
	Pozo superficial dos	17,32	1,43
Na	Pozo subterráneo	91,74	3,99
	Pozo superficial uno	96,54	4,20
	Pozo superficial dos	59,28	2,58

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los datos del laboratorio de IBTEN

5.4.1.5 Clasificación por salinidad

Figura 78. Clasificación por salinidad

Parámetro	Fuente		
	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
RAS	0,48	3,23	1,96
CE micromhos	550	1291	1020
Clasificación	C2-S1	C3-S1	C3-S1

Fuente: Elaboración propia 2019, en base a los resultados de laboratorio de IBTEN

La clasificación de agua del pozo subterráneo es C2-S1, esto indica que es agua de buena calidad, apto para el riego, y los pozos superficiales uno y dos se clasifican en C3-S1, esto nos indica que son aguas utilizables para el riego con precauciones, como indica la norma Riverside.

5.4.1.6 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

El PSI se calcula con la Ec. 2 tomando en cuenta los parámetros de RAS, que se obtienen de los análisis de laboratorio de IBTEN.

Figura 79. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

Parámetro	Subterráneo	superficial uno	superficial dos
PSI (%)	0,46	2,44	1,64

Fuente: Elaboración propia 2019, en base a los resultados de laboratorio de IBTEN

El riesgo del PSI, para los suelos de la E.E. Patacamaya, son menores como lo menciona Porta, 2010

5.4.1.7. Dureza

La dureza se calcula con la Ec. 4, teniendo los cationes del análisis de laboratorio de IBTEN

Figura 80. Dureza del agua de los pozos

Parámetro	Fuentes		
	Pozo subterráneo	Pozo superficial uno	Pozo superficial dos
Dureza	9,38	270,58	281,56
Tipo de agua	Blanda	muy dura	muy dura

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los resultados obtenidos del laboratorio IBTEN

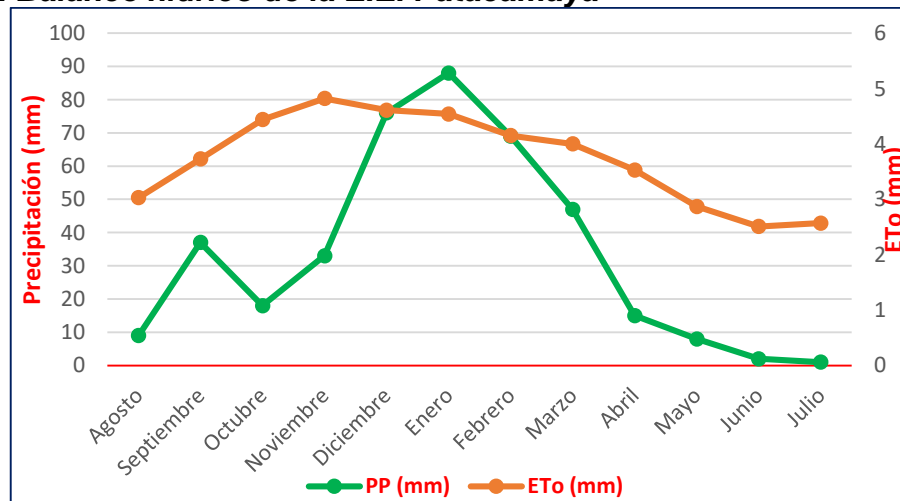
El agua del pozo subterráneo es blanda, mientras que los pozos superficiales uno y dos son aguas muy duras, esto indica que los pozos superficiales uno y dos, son aguas ricas en calcio, lo que al suelo favorecería en desplazar exceso de sodio.

5.5 Requerimiento de agua

5.5.1 Balance hídrico de la E. E. Patacamaya

El balance hídrico, presenta una curva pluviométrica de bajas magnitudes en la época seca y altas en la época de lluvias, típico de las regiones del Altiplano, en donde se encuentra la E.E. Patacamaya.

Figura 81. Balance hídrico de la E.E. Patacamaya



Fuente: Elaboración propia (2019), en base a los datos de campo

La precipitación de la E. E. Patacamaya es inferior a la evapotranspiración ETo es por ello que se realiza la evaluación del volumen de agua en la E.E. Patacamaya y esto nos indica realizar el riego complementario de acuerdo a los requerimientos de los

diferentes cultivos. Sin embargo, en el mes de enero la precipitación es superior a la ETo, es por ello se realizará el riego suplementario y almacenamiento de agua en los reservorios.

5.5.2 Consumo de agua de los animales

5.5.2.1 Consumo de agua de los ovinos

Los ovinos en la E.E. Patacamaya tienen un peso promedio de 50 Kg. en la Figura 82 se muestra el requerimiento de agua para una oveja.

Figura 82. Consumo de agua del ganado ovino de la E.E.P.

Ovinos	Unidad	
Cantidad	124 Cabezas	
Consumo diario	4 L/día Cabeza	
Consumo total diario	496 L/día	
Consumo mensual	14880 L/mes	14,88 m³/mes

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a la información de la E.E.P.

Volumen de agua que se requiere para el ganado ovino es de 14,88 m³/mes.

5.5.2.2 Consumo de agua de los camélidos

Los camélidos en la Estación Experimental Patacamaya tienen un peso promedio de 90 Kg.

Figura 83. Consumo de agua de ganado camélido

Camélidos	Unidad	
Cantidad	36 Cabezas	
Consumo diario	7,2 L/90 Kg de PV	
Consumo total diario	259,2 L/día	
Consumo mensual	7776 L/mes	

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a la información de la E.E.P.

Volumen de agua que se requiere para ganado camélido es de **7,78 m³/mes.**

5.5.2.3 Consumo de agua del personal

El consumo de agua del personal de la E.E. Patacamaya en los 5 días de la semana, es como se detalla en la Figura 84.

Figura 84. Consumo de agua del personal

Cargo	Cantidad	Unidad	
Personal administrativo	5		
Docentes investigadores	10		
Investigadores de pregrado	5		
Consumo de agua promedio por día	80	L/día persona	
Consumo Total de agua por día	1600	L/día	
Consumo semanal	8000	L/semana	
Consumo mensual	160000	L/mes	160,00 m³/mes

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de la E.E.P.

La cantidad de agua que se requiere para personal de la E.E. Patacamaya es de **160,00 m³/mes**.

5.5.3 Demanda de agua

Figura 85. Demanda de agua del personal y animales (m³/mes)

Características	Cantidad
Invernaderos	60,00
Ovinos	10,08
Camélidos	7,06
Personal	160
Total	237,14

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de E.E.P. y campo

La demanda de agua constante fija que se requiere para el uso del personal, invernaderos y ganadería es de **237,14 m³/mes** aproximadamente.

5.5.4 Agua disponible para agropecuario

La cantidad de agua que se dispone para el riego de los cultivos a campo abierto es como se muestra en la Figura 86.

Figura 86. Agua disponible para riego a campo abierto (m³/mes)

Características	Cantidad
Oferta	2835,33
Demanda de animales, invernaderos y personal	237,14
Agua disponible	2598,19

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo

Como se observa en la Figura 86, la cantidad de agua que se dispone para riego a campo abierto, en promedio es de **2598,19 m³/mes**.

5.5.5 Necesidades hídricas de los cultivos

En la determinación de las necesidades hídricas se utilizó la duración de las etapas de crecimiento, coeficientes de los cultivos, factores climáticos y la modelación de software de CROPWAT 8.0 para los cultivos de papa, quinua, alfalfa, cebada, avena, triticale, cebolla y haba.

5.5.5.1 Cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa*)

Realizando el riego para el cultivo de alfalfa, comenzando desde del 01 de noviembre hasta 30 de octubre el requerimiento de agua es como se muestra en la Figura 85, tomando en cuenta que en los meses de mayo, junio y julio no se realiza el riego debido a los factores climáticos que se tiene en el altiplano.

Figura 87. Requerimiento de agua para el cultivo de Alfalfa

Mes	Eta	Kc	ETc	P.e.	Requerimiento de Riego				
					mm/de c	mm/de c	mm/de c	m3/h a	mm/di a
Nov	Inic	0,95	44,6	8,2	36,3	363	3,63	36,3	
Nov	Inic	0,95	45,7	9,4	36,3	363	3,63	36,3	
Nov	Inic	0,95	45,1	13,7	31,4	314	3,14	31,4	
					Suma	1040	Prom	34,7	1040
Dic	Inic	0,95	44,4	19,1	25,3	253	2,53	25,3	
Dic	Inic	0,95	43,8	23,5	20,3	203	2,03	20,3	

Dic	Inic	0,95	47,9	24,1	23,9	239	2,39	23,9	
					Suma	695	Prom	23,2	718,2
Ene	Inic	0,95	43,4	24,9	18,5	185	1,85	18,5	
Ene	Des	0,95	43,2	26,3	17	170	1,7	17	
Ene	Des	0,95	46,3	24,3	22	220	2,2	22	
					Suma	575	Prom	19,2	594,2
Feb	Des	0,96	41	22,1	18,8	188	1,88	18,8	
Feb	Des	0,96	39,8	20,6	19,2	192	1,92	19,2	
Feb	Des	0,96	31,5	18,6	13	130	1,3	13	
					Suma	510	Prom	17,0	476,0
Mar	Des	0,96	39	16,8	22,2	222	2,22	22,2	
Mar	Des	0,97	38,6	15	23,7	237	2,37	23,7	
Mar	Med	0,97	40,9	11,6	29,3	293	2,93	29,3	
					Suma	752	Prom	25,1	777,1
Abr	Med	0,97	35,7	7,4	28,2	282	2,82	28,2	
Abr	Med	0,97	34,1	3,9	30,3	303	3,03	30,3	
Abr	Med	0,97	32	3,5	28,6	286	2,86	28,6	
					Suma	871	Prom	29,0	871
May	Med	0,97	29,9	3,4	26,5	265	2,65	26,5	
May	Med	0,97	27,8	2,6	25,2	252	2,52	25,2	
May	Med	0,97	29,3	2	27,3	273	2,73	27,3	
					Suma	790	Prom	26,3	816,3
Ago	Fin	0,98	25,8	1,2	24,6	246	2,46	24,6	
Ago	Fin	0,98	24,7	0,5	24,2	242	2,42	24,2	
Ago	Fin	0,98	24,9	0,4	24,5	245	2,45	24,5	
					Suma	733	Prom	24,4	757,4
Sep	Fin	0,98	25,1	0,2	24,9	249	2,49	24,9	
Sep	Fin	0,98	25,3	0	25,3	253	2,53	25,3	
Sep	Fin	0,98	29,5	0,9	28,6	286	2,86	28,6	
					Suma	788	Prom	26,3	788
Oct	Fin	0,98	28,3	1,5	26,7	267	2,67	26,7	
Oct	Fin	0,98	17,8	1,3	16,8	168	1,68	16,8	
Oct	Fin	0,98	17,8	1,3	16,8	168	1,68	16,8	
			1025,4	307,1	718,5	603	Prom	20,1	603,0

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y el programa de CROPWAT 8.0

Realizando el riego complementario y suplementario para el cultivo de alfalfa su requerimiento de agua es de **7441,17 m³**, tomando en cuenta los factores y elementos climáticos que presenta la E.E. Patacamaya.

5.5.5.2 Cultivo de Avena (*Avena sativa*)

La siembra del cultivo de Avena, en la E.E. Patacamaya se realiza la primera semana de diciembre (10 de diciembre), para tener la cosecha en el mes de abril (18 de abril) y su requerimiento se muestra en la Figura 88.

Figura 88. Requerimiento de agua para el cultivo de Avena

Mes	Eta	Kc	ETc mm/día	ETc mm/dec	P.e. mm/dec	Requerimiento de riego				
						mm/dec	m ³ /ha	mm/día	m ³ /ha día	m ³ /ha mes
Dic	Inic	0,3	1,4	1,4	1,9	1,4	14	0,14	1,4	
Dic	Inic	0,3	1,38	13,8	23,5	0	0	0	0	
Dic	Des	0,31	1,41	15,5	24,1	0	0	0	0	
						Suma	14	Prom	0,5	9,8
Ene	Des	0,51	2,35	23,5	24,9	0	0	0	0	
Ene	Des	0,8	3,63	36,3	26,3	10,1	101	1,01	10,1	
Ene	Med	1,08	4,78	52,6	24,3	28,3	283	2,83	28,3	
						Suma	384	Prom	12,8	396,8
Feb	Med	1,16	4,95	49,5	22,1	27,3	273	2,73	27,3	
Feb	Med	1,16	4,8	48	20,6	27,3	273	2,73	27,3	
Feb	Med	1,16	4,74	37,9	18,6	19,3	193	1,93	19,3	
						Suma	739	Prom	24,6	689,7
Mar	Fin	1,15	4,67	46,7	16,8	29,9	299	2,99	29,9	
Mar	Fin	1,01	4,03	40,3	15	25,3	253	2,53	25,3	
Mar	Fin	0,77	2,96	32,6	11,6	20,9	209	2,09	20,9	
						Suma	761	Prom	25,4	786,4
Abr	Fin	0,53	1,96	19,6	7,4	12,2	122	1,22	12,2	
Abr	Fin	0,33	1,16	9,3	3,1	5,4	54	0,54	5,4	
				427	240,2	207,5	176	Prom	8,8	158,4

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y el programa de CROPWAT 8.0

El requerimiento de agua para el cultivo de avena, para todo su ciclo productivo es de **2040,1 m³**.

5.5.5.3 Cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare*)

La siembra del cultivo de cebada en la E.E. Patacamaya se realiza la primera semana de diciembre (10 de diciembre), para tener la cosecha en el mes de abril (18 de abril) y su requerimiento se muestra en la Figura 89.

Figura 89. Requerimiento de riego para el cultivo de Cebada

Mes	Eta	Kc	ETc mm/día	ETc mm/dec	P.e. mm/dec	Requerimiento de riego				
						mm/dec	m3/ha	mm/día	m3/ha día	m3/ha mes
Dic	Inic	0,3	1,4	1,4	1,9	1,4	14	0,14	1,4	
Dic	Inic	0,3	1,38	13,8	23,5	0	0	0	0	
Dic	Des	0,31	1,41	15,5	24,1	0	0	0	0	
						Suma	14	Prom	0,5	9,8
Ene	Des	0,51	2,35	23,5	24,9	0	0	0	0	
Ene	Des	0,8	3,63	36,3	26,3	10,1	101	1,01	10,1	
Ene	Med	1,08	4,78	52,6	24,3	28,2	282	2,82	28,2	
						Suma	383	Prom	12,8	395,8
Feb	Med	1,16	4,95	49,5	22,1	27,3	273	2,73	27,3	
Feb	Med	1,16	4,79	47,9	20,6	27,3	273	2,73	27,3	
Feb	Med	1,16	4,74	37,9	18,6	19,3	193	1,93	19,3	
						Suma	739	Prom	24,6	689,7
Mar	Fin	1,15	4,67	46,7	16,8	29,9	299	2,99	29,9	
Mar	Fin	1,01	4,03	40,3	15	25,3	253	2,53	25,3	
Mar	Fin	0,77	2,96	32,6	11,6	20,9	209	2,09	20,9	
						Suma	761	Prom	25,4	786,4
Abr	Fin	0,53	1,96	19,6	7,4	12,2	122	1,22	12,2	
Abr	Fin	0,33	1,16	9,3	3,1	5,4	54	0,54	5,4	
				426,9	240,2	207,5	176	Prom	8,8	158,4

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y el programa de CROPWAT 8.0

El requerimiento de agua para el cultivo de cebada, para su ciclo productivo es de **2040,1 m³**.

5.5.5.4 Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*)

La siembra del cultivo papa en la E.E. Patacamaya se realiza la primera semana de noviembre (08 de noviembre), para tener la cosecha en el mes de mayo (22 de mayo) y su requerimiento se muestra en la figura 90.

Figura 90. Requerimiento de agua para el cultivo de Papa

Mes	Eta	Kc	ETc mm/día	ETc mm/dec	P.e. mm/dec	Requerimiento de Riego				
						mm/dec	m3/ha	mm/día	m3/ha día	m3/ha mes
Nov	Inic	0,5	2,35	7	2,5	7	70	0,7	7	
Nov	Inic	0,5	2,41	24,1	9,4	14,7	147	1,47	14,7	
Nov	Inic	0,5	2,37	23,7	13,7	10	100	1	10	
						Suma	317	Prom	10,6	232,5
Dic	Inic	0,5	2,34	23,4	19,1	4,2	42	0,42	4,2	
Dic	Inic	0,5	2,3	23	23,5	0	0	0	0	
Dic	Des	0,58	2,67	29,4	24,1	5,3	53	0,53	5,3	
						Suma	95	Prom	3,2	98,2
Ene	Des	0,73	3,31	33,1	24,9	8,2	82	0,82	8,2	
Ene	Des	0,86	3,92	39,2	26,3	13	130	1,3	13	
Ene	Des	1,01	4,44	48,8	24,3	24,5	245	2,45	24,5	
						Suma	457	Prom	15,2	472,2
Feb	Med	1,14	4,86	48,6	22,1	26,5	265	2,65	26,5	
Feb	Med	1,16	4,8	48	20,6	27,3	273	2,73	27,3	
Feb	Med	1,16	4,74	37,9	18,6	19,3	193	1,93	19,3	
						Suma	731	Prom	24,4	682,3
Mar	Med	1,16	4,68	46,8	16,8	30	300	3	30	
Mar	Med	1,16	4,63	46,3	15	31,3	313	3,13	31,3	
Mar	Med	1,16	4,44	48,9	11,6	37,3	373	3,73	37,3	
						Suma	986	Prom	32,9	1018,9
Abril	Med	1,16	4,26	42,6	7,4	35,2	352	3,52	35,2	
Abril	Fin	1,15	4,06	40,6	3,9	36,7	367	3,67	36,7	
Abril	Fin	1,06	3,51	35,1	3,5	31,7	317	3,17	31,7	
						Suma	1036	Prom	34,5	1036,0
Mayo	Fin	0,95	2,94	29,4	3,4	26	260	2,6	26	
Mayo	Fin	0,84	2,41	24,1	2,6	21,4	214	2,14	21,4	
Mayo	Fin	0,77	2,12	4,2	0,4	4,2	42	0,42	4,2	
				704,3	293,7	413,9	516	Prom	17,2	378,4

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y el programa de CROPWAT 8.0

El requerimiento de agua para el ciclo productivo del cultivo de papa es de **3918,4 m³**.

5.5.5.5 Cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa*)

La siembra del cultivo quinua en la E.E. Patacamaya se realiza la primera semana de octubre (03 de octubre), para tener la cosecha en el mes de mayo y su requerimiento de agua se muestra en la Figura 91.

Figura 91. Requerimiento de agua para el cultivo de Quinua

Mes	Eta	Kc	ETc mm/día	ETc mm/dec	P.e. mm/dec	Requerimiento de Riego				
						mm/dec	m ³ /ha	mm/día	m ³ /ha día	m ³ /ha mes
Oct	Inic	0,58	2,44	19,5	5,4	12,7	127	1,27	12,7	
Oct	Inic	0,58	2,58	25,8	4,4	21,4	214	2,14	21,4	
Oct	Inic	0,58	2,65	29,1	6,4	22,8	228	2,28	22,8	
						Suma	569	Prom	19,0	531,1
Nov	Des	0,57	2,69	26,9	8,2	18,7	187	1,87	18,7	
Nov	Des	0,56	2,69	26,9	9,4	17,5	175	1,75	17,5	
Nov	Des	0,54	2,59	25,9	13,7	12,2	122	1,22	12,2	
						Suma	484	Prom	16,1	484,0
Dic	Des	0,53	2,48	24,8	19,1	5,7	57	0,57	5,7	
Dic	Des	0,52	2,38	23,8	23,5	0,3	3	0,03	0,3	
Dic	Med	0,51	2,33	25,6	24,1	1,6	16	0,16	1,6	
						Suma	76	Prom	2,5	78,5
Ene	Med	0,51	2,32	23,2	24,9	0	0	0	0	
Ene	Med	0,51	2,31	23,1	26,3	0	0	0	0	
Ene	Med	0,51	2,24	24,7	24,3	0,3	3	0,03	0,3	
						Suma	3	Prom	0,1	3,1
Feb	Med	0,51	2,18	21,8	22,1	0	0	0	0	
Feb	Med	0,51	2,11	21,1	20,6	0,5	5	0,05	0,5	
Feb	Fin	0,69	2,81	22,5	18,6	3,9	39	0,39	3,9	
						Suma	44	Prom	1,5	41,1
Mar	Fin	0,71	2,88	28,8	16,8	12	120	1,2	12	
Mar	Fin	0,71	2,84	28,4	15	13,4	134	1,34	13,4	
Mar	Fin	0,71	2,73	30	11,6	18,4	184	1,84	18,4	
						Suma	438	Prom	14,6	452,6
Abr	Fin	0,71	2,62	26,2	7,4	18,8	188	1,88	18,8	

Abr	Fin	0,71	2,51	25,1	3,9	21,2	212	2,12	21,2	
Abr	Fin	0,71	2,35	23,5	3,5	20,1	201	2,01	20,1	
						Suma	601	Prom	20,0	601,0
May	Fin	0,71	2,2	4,4	0,7	4,4	44	0,44	4,4	
				531,1	309,9	225,8	846	Prom	14,8	29,7

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y el programa de CROPWAT 8.0

Requerimiento de agua para su ciclo productivo del cultivo de quinua para una hectárea es de **2221,1m³**.

5.5.5.6 Cultivo de Triticale (*×Triticosecale*)

La siembra del cultivo triticale en la E.E. Patacamaya se realiza la primera semana de diciembre (10 de diciembre), para tener la cosecha en el mes de abril (28 de abril) y su requerimiento de agua se muestra en la Figura 92.

Figura 92. Requerimiento de agua para el cultivo de Triticale

Mes	Eta	Kc	ETc mm/día	ETc mm/dec	P.e. mm/dec	Requerimiento de Riego				
						mm/dec	m ³ /ha	mm/día	m ³ /ha día	m ³ /ha mes
Dic	Inic	0,25	1,17	1,2	1,9	1,2	12	0,12	1,2	
Dic	Inic	0,25	1,15	11,5	23,5	0	0	0	0	
Dic	Des	0,26	1,18	13	24,1	0	0	0	0	
						Suma	12	Prom	0,4	8,4
Ene	Des	0,48	2,18	21,8	24,9	0	0	0	0	
Ene	Des	0,78	3,54	35,4	26,3	9,1	91	0,91	9,1	
Ene	Med	1,08	4,76	52,4	24,3	28,1	281	2,81	28,1	
						Suma	372	Prom	12,4	384,4
Feb	Med	1,16	4,95	49,5	22,1	27,3	273	2,73	27,3	
Feb	Med	1,16	4,8	48	20,6	27,4	274	2,74	27,4	
Feb	Med	1,16	4,74	37,9	18,6	19,3	193	1,93	19,3	
						Suma	740	Prom	24,7	690,7
Mar	Fin	1,15	4,67	46,7	16,8	29,9	299	2,99	29,9	
Mar	Fin	1,04	4,15	41,5	15	26,5	265	2,65	26,5	
Mar	Fin	0,85	3,26	35,8	11,6	24,2	242	2,42	24,2	
						Suma	806	Prom	26,9	832,9

Abr	Fin	0,66	2,42	24,2	7,4	16,8	168	1,68	16,8	
Abr	Fin	0,48	1,68	16,8	3,9	12,9	129	1,29	12,9	
Abr	Fin	0,31	1,04	8,3	2,8	4,8	48	0,48	4,8	
				443,9	243,8	227,6	345	Prom	11,5	322,0

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y el programa de CROPWAT 8.0

Requerimiento de agua para su ciclo productivo del cultivo de triticale para una hectárea es de **2838,3 m³**.

5.6 Balance de requerimiento de agua para la E.E. Patacamaya

La cantidad de agua disponible y los requerimientos de los diferentes cultivos para la E.E. Patacamaya es la siguiente:

Figura 93. Oferta de agua de los pozos (m³)

Fuente de Agua	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pozo subterráneo	2770	2770	2.770	2770	553,92	553,92	553,92	2770	2770	2770	2770	2770
Pozo superficial 1	28,3	26,0	21,8	21,2	20,2	20,0	17,3	23,9	37,9	37,1	36,6	37,7
Pozo superficial 2	19,3	18,4	15,8	15,6	16,8	15,9	15,6	32,9	33,3	36,7	26,4	31,6
Volumen total	2817	2814	2807	2806	591	590	587	2827	2841	2843	2833	2839

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y CROPWAT 8.0

La oferta de agua de las tres fuentes de agua, para realizar diferentes actividades en la E.E. Patacamaya es como se muestra en la Figura 93.

Figura 94. Demanda de agua de los cultivos con riego (m³) 2018

Cultivos y animales	Sup. (ha)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Carpas-Hortalizas(m3)		60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Ovinos (m³)		14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
Camelidos (m³)		7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
Personal (Agua potable) (m³)		160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0

Alfalfa (m³/ha)	2,07	1229,9	985,3	1608,5	1803,0				1567,9	1631,2	1248,2	2152,8	1486,6
Avena (m³/ha)	1,27	503,9	876,0	998,7	201,2								12,4
Cebada (m³/ha)	0,62	245,4	427,6	487,5	98,2								6,1
Papa (m³/ha)	0,47	221,9	320,7	478,9	486,9	177,8						109,3	46,1
Total oferta (m³/ha)	4,43	2443,8	2852,2	3816,3	2831,9	420,5	242,7	242,7	1810,5	1873,8	1490,9	2504,7	1793,9

Fuente: Elaboración propia (2019), con datos de campo y CROPWAT 8.0

La demanda de agua de los animales (ovinos y camélidos), y los cultivos (alfalfa, avena, cebada y papa), es como se detalla en la Figura 94.

Figura 95. Balance de requerimiento de agua en la E.E. Patacamaya (m³)

Balance	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Oferta	2817	2814	2807	2806	591	590	587	2827	2841	2843	2833	2839
Demanda	2444	2852	3816	2832	421	243	243	1811	1874	1491	2505	1794
Exceso y deficit	373	- 38	- 1009	- 26	170	347	344	1016	967	1353	328	1045

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo y CROPWAT 8.0

Como se muestra en la Figura 95, el déficit de agua se presenta los meses de febrero, marzo y abril, es donde los cultivos están en pleno desarrollo y requieren mayor demanda de agua, es por ello que la cantidad de agua de las tres fuentes es para 4,43 ha.

5.7 Proyección agropecuaria

Para la proyección agropecuaria se utilizó la herramienta de CROPWAT 8.0 y las necesidades de agua de los camélidos, ovinos, invernaderos y requerimiento de los cultivos a campo abierto, según el Plan de Desarrollo de la Estación Experimental Patacamaya.

5.7.1 Proyección agropecuaria de ovinos

La estación experimental Patacamaya tiene como objetivo, tener un rebaño de 60 vientres fijos y 4 reproductores, realizando remate cada gestión, para mantener un rebaño de elite.

I= Inicio, R= Remate, C= Crías, T= Total

Figura 96. Proyección agropecuaria de ovinos

Gestión

Ovinos	2018				2019				2020				2021				2022				2023							
	I	R	C	T	I	R	C	T	I	R	C	T	I	R	C	T	I	R	C	T	I	R	C	T				
Reproductor	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	4
Machos	30	30	30	30	30	30	36	36	36	36	38	38	38	38	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Hembras	75	15	30	90	90	30	36	96	96	36	39	99	99	39	40	100	100	40	40	100	100	40	40	100	100	40	40	100
Total	109	45	60	124	124	60	72	136	136	72	77	141	141	77	80	144	144	80	80	144	144	80	80	144	144	80	80	144

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo y PDP

Es el crecimiento poblacional del rebaño, según el plan de desarrollo de la Estación Experimental Patacamaya.

Figura 97. Requerimiento de agua por gestión

Requerimiento de agua	Gestión					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
(L/día)	496	544	564	576	576	576
(m ³ /día)	0,496	0,544	0,564	0,58	0,58	0,576
(m ³ /semana)	3,472	3,808	3,948	4,03	4,03	4,032
(m ³ /mes)	13,89	15,23	15,79	16,1	16,1	16,13
(m ³ /año)	166,7	182,8	189,5	194	194	193,5

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo y PDEEP

El requerimiento de agua aumenta a medida que aumenta la población de rebaño.

5.7.2 Proyección agropecuaria de camélidos

La estación experimental Patacamaya tiene como objetivo tener un tama de camélidos de mayor peso que alcance en promedio 130 Kg. y que el crecimiento de camélidos este en aumento.

I= Inicio, R= Remate, C= Crías, T= Total, Co= Compra

Figura 98. Proyección agropecuaria de camélidos

Camélidos	Gestión																									
	2018				2019				2020				2021				2022				2023					
	I	C	C	T	I	R	Co	C	T	I	R	C	T	I	R	C	T	I	R	C	T	I	R	C	T	
Reproductor		1	1	1	0	0	1	2	2	2	1	1	2	2	0	1	3	3	1	4	4	1	4	4	1	5
Machos	5	0	5	5	4	0	7	8	8	8	5	5	5	5	7	7	7	6	7	8	8	7	7	7	8	
Hembras	27	3	0	30	30	13	6	7	30	30	7	37	37	7	44	44	8	52	52	9	61					
Total	27	8	1	36	36	17	6	14	40	40	9	13	44	44	5	15	54	54	6	16	64	64	7	17	74	

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo y PDEEP

Es el crecimiento poblacional del tama de camélidos, según el plan de desarrollo de la Estación Experimental Patacamaya.

Figura 99. Requerimiento de agua por gestión

Requerimiento de agua	Gestión					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
(L/día)	259	288	317	389	461	532,8
(m ³ /día)	0,26	0,288	0,32	0,389	0,461	0,5328
(m ³ /semana)	1,81	2,016	2,22	2,722	3,226	3,7296
(m ³ /mes)	7,26	8,064	8,87	10,89	12,9	14,918
(m ³ /año)	87,09	96,768	106,4	130,6	154,8	179,021

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo y PDEEP

El requerimiento de agua aumenta a medida que aumenta la población de rebaño

5.7.3 Proyección agropecuaria de los cultivos

La estación experimental Patacamaya tiene como objetivo tener la producción de cultivos anuales (papa, forrajes y quinua), bajo es sistema de riego.

Ra= Requerimiento de agua, Vs= Volumen por superficie, S= Superficie

Figura 100. proyección agropecuaria de los cultivos

Cultivo	2017-2018			2018-2019			Gestión 2019-2020			2020-2021			2021-2022			2022-2023		
	S	Ra	Vs	S	Ra	Vs	S	Ra	Vs	S	Ra	Vs	S	Ra	Vs	S	Ra	Vs
Quinua	0	Sec	Sec	5	Sec	Sec	5	Sec	Sec	5	Sec	Sec	5	Sec	Sec	5	Sec	Sec
Papa	0,47	3918,4	1841,65	0,35	3918,4	1371,44	1	3918,4	3918,4	1	3918,4	3918,4	1	3918,4	3918,4	1	3918,4	3918,4
Alfalfa	2,07	7441,17	15403,2	3,5	7441,17	26044,1	5	7441,17	37205,85	5	7441,17	37205,9	5	7441,17	37205,9	5	7441,17	37205,9
Cebada	0,62	2040,1	1264,86	0	2040,1	0	0	2040,1	0	0	2040,1	0	0	2040,1	0	0	2040,1	0
Avena	1,27	2040,1	2590,93	0,85	2040,1	1734,085	1	2040,1	2040,1	1	2040,1	2040,1	1	2040,1	2040,1	1	2040,1	2040,1
Triticale	0	2838,3	0	0	2838,3	0	0	2838,3	0	0	2838,3	0	0	2838,3	0	0	2838,3	0
Pastos nativos	0	1980	0	0	1980	0	1	1980	1980	1	1980	1980	1	1980	1980	1	1980	1980
	4,43	20258,1	21100,7	4,7	20258,1	29149,62	8	20258,1	45144,35	8	20258,1	45144,4	8	20258,1	45144,4	8	20258,1	45144,4

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo y PDEEP

El requerimiento de agua de los cultivos a campo abierto, aumenta a medida que se incrementa la superficie de los distintos cultivos.

5.7.4 balance de proyección agropecuaria

Figura 101. Oferta y demanda de agua m³/año

Oferta y Demanda de agua	Gestión					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Oferta de agua de los pozos	3.842	33.842	33.842	33.842	33.842	33.842
Requerimiento de agua de los cultivos cultivos	21100,7	29149,62	45144,35	45144,4	45144,4	45144,4
Requerimiento de agua de ovinos	166,656	182,784	189,504	193,536	193,536	193,536
Requerimiento de agua de camélidos	87,0912	96,768	106,4448	130,637	154,829	179,021
Requerimiento de agua los invernaderos	1440	1440	1440	1440	1440	1440
Requerimiento de agua del personal	1920	1920	1920	1920	1920	1920
Exceso y déficit de agua	16.355	8.332	- 7.646	- 7.618	-7.594	- 7.570

Fuente: Elaboración propia (2019), en base a datos de campo y PDEEP

Entre la gestión 2018 y 2019, no hay déficit de agua, cuando se realiza cultivos menor a cinco ha en las actividades pecuaria y ganadería, sin embargo, desde la gestión 2020, hay un déficit de agua al incrementar la frontera agrícola en la E.E. Patacamaya.

6. CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en la presente investigación permiten establecer las siguientes conclusiones:

El pozo subterráneo tiene un caudal de expulsión de 19 L/s, que tiene un volumen de almacenamiento en el reservorio cilíndrico de 69.24 m³ en un solo bombeo, con un tiempo de una hora, cuantificando el volumen de agua por mes en época de verano es de **2769.6 m³/mes** y en la época de invierno de **553.92 m³/mes**. Los pozos superficiales uno y dos, en el primer periodo al realizar el bombeo una vez por semana y midiendo el volumen cada 24 horas, se cuantifica un volumen promedio de **21.03 y 16.4 m³/mes** respectivamente, sin embargo, en el segundo periodo al realizar el bombeo y medición de volumen dos veces a la semana se cuantifico un volumen de **36.8 y 28.93 m³/mes**, por ello se concluye que el bombeo se debe realizar cada tres días para aprovechar mayor volumen de agua de estas fuentes de agua.

El pozo subterráneo se clasifica como **C2 – S1**, esto indica que el agua es de buena calidad y es apto para realizar el riego en los cultivos. Mientras los Pozos superficiales uno y dos se clasifica como C3-S1, esto nos indica que es un agua de salinidad alta y bajo contenido en sodio, que se puede utilizar para el riego con precaución en suelos con buen drenaje y tiene un PSI de 0.46 % en el pozo subterráneo y en los pozos superficiales uno y dos es de 2.44 y 1.64 %, la cual indica que existe poco contenido de sodio en los suelos de la E.E. Patacamaya.

El pozo subterráneo es agua blanda al tener poco contenido de calcio y los pozos superficiales uno y dos son aguas muy duras, debido a alto contenido de calcio que favorece a desplazar el exceso de sodio en el suelo.

La cantidad de agua disponible para la E.E. Patacamaya es para una superficie de 4.43ha de cultivos a campo abierto. Sin embargo, realizando la proyección agropecuaria de acuerdo a PDEEEP, al incrementar la superficie más de cinco hectáreas existe un déficit de agua.

7 RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

- ❖ Realizar investigaciones del agua (zonas de recarga), proveniente hacia los pozos (isotopos).
- ❖ Realizar perforación de los pozos subterráneos, previa investigación de los acuíferos en la E.E. Patacamaya.
- ❖ Instalar electrobombas sumergibles en los pozos superficiales uno y dos, para el uso de los estanques elevados para el almacenamiento y uso eficiente del agua.
- ❖ Destinar el pozo superficial dos para uso exclusivo de los invernaderos según los análisis físicas y químicas de agua.

8 BIBLIOGRAFIA

- Arain M.B., Ullah I., Niaz A., Shah N., Shah A., Hussain Z., Tariq M., Afridi H.I., Baig J.A. y Kazi T.G. (2014). (2014). *Evaluation of water quality parameters in drinking water of district Bannu, Pakistan: Multivariate study. Sustainability of Water Quality and Ecology*. DOI: 10.1016/j.swaqe.2014.12.005.
- Arocha, R. (1980). *Abastecimiento de agua (Teoría y Diseño)*. Venezuela: Editorial Vegas. Caracas, 284 pp.
- Ayers R.S. y Westcot D.W. (1985). *Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Roma:
<http://www.fao.org/DOCRReP/003/T0234e/T0234E00.htm>.
- Balairón, L. (2000). *Gestión de Recursos Hídricos*. Barcelona: Univ. Politecnica de Cataluña, 478 p.
- Balek, j. (1988). *Groundwater recharge concepts. En Estimation of Natural Groundwater Recharge*. Boston: Reidel, NATO ASI Series, p. 3–9. .
- Blarasin M.; Cabrera A. (2005). *Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba*. Argentina: UNRC.
- Canovas Cuenca., J. (1986). *Calidad Agronómica de las aguas de riego. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid*. Madrid.
- Compo. (2014). *Calidad del Agua en las américas*. 13 p.
- CONAGUA. (2013). San Juan-Argentina: www.conagua2013.com.
- Custodio, E. (1997). *Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y termicos*. España Madrid: Instituto Tecnológico Geominero, p. 83–108.
- FAO. (2000). *Bolivia. Programa Nacional de Riego y Drenaje*. Roma: Informe de preparacion del Centro de Inversiones, 65 p.
- FAO. (2006). *Evapotranspiracion del cultivo, Guías para la determinacion de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia: 298 p.
- FAO. (2008). *La papa y los recursos hídricos Disponible en http: www*.
- FAO. (27 de Marzo de 2015). *La papa y los recursos hidricos*. La paz:
www.potato2008.org. Obtenido de www.potato2008.org
- FAO. (Abril, 2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile.

- Heredia, I. A. (2002). *El agua de Riego: Criterios de Interpretación. Efectos sobre el suelo y la producción.*
- Hoogendam, P. y Rios C. (2008). *Manual de riego tecnificado para los valles* . LaPaz-Bolivia.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua. Relaciones de demanda de agua y oferta hídrica.* Bogota-Colombia.
- ISSAR, A.; PASSHIER, R. (1990). *Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge.* R. van Acken GmbH, p. 20-98.
- JARRIGE, J. (1989). *INRAtion. Publishers CNERTA, Dijon, France.*
- Jimenez Costillas, A. (2015). *Anejo VI Calidad del Agua de Riego.*
<http://www.ingenieriarural.com>: Anejo 6.
- Jimenez, M. P. (2005). *Utilizacion de parámetros químicos.* AGRISCIENTIA, 25-31p.
- LERNER, D. (2002). *Identifying and quantifying urban recharge: a review.* p. 143-152.
- MASTERTON, W., y SLOWINSKI, E. (1974). *Química General Superior.* Mexico: 702 p.
- MEDRANO, H. ESCALONA, JM., BOTA, J., GULIAS, J., FLEXAS, J. (2002).
«Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: the interest of stomatal conductance as a reference parameter. vol. 89, págs. 895-905.
- Montes de Oca, Ismael. (1997). *Geografía y recursos naturales de Bolivia. Cooperación Técnica Canadiense.* La Paz-Bolivia: p. 79-113.
- Páez-Sánchez A. (2013). *Arsenic content and physicochemical parameters of water from wells and thermal springs at Cuitzeo* . Mexico: IJRSET. 2, 7731-7740.
- Palacios, A. (2010). *Tratamiento electrostatica del agua para el riego.*
- Patil, .. P. (2012). *Physico-chemical parameters for testing of water. A review.* IJES 3.
- PDM, P. d. (2006-2010). Patacamaya-La Paz.
- Peña W., O. L. (1994). *Evaluación de los recursos hídricos del cantón San José de Llanga.* La paz-Bolivia: UMSA, 147 P.
- Phocaides., A. (2000). *Technical handbook on pressurized irrigation techniques.*
Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia: 195 pp.
- Plan de Desarrollo de la Estacion Experimental Patacamaya.* (2019-2023). Lapaz.
- PRONAR. (2003). *Evapotranspiracion de referencia y coeficiente de cultivo para el chaco tarijeño.* Tarija: N° 1, 87 p.

- PTDI, P. T. (2016-2020). *GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE PATACAMAYA*. Patacamaya-La az.
- Redondo, M. A. (2015). *Diseño Agronomico e Hidraulico a presion e Interpretación de un análisis de agua para riego*. Nominado mejor Blog y Post premios iAgua 2018.
- Rodríguez, S., & Vara, J. y. (2005). *Clasificacion de agua utilizados para el riego*. Universidad Nacional de Noroeste.
- Romero, O., & Bravo, S. (s.f). (s.f.). *ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN EN LOS OVINOS*. INIA: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR38521.pdf>.
- Ruiz, M. C. (2011). *Manual Técnico de Llamas*. Bolivia; AMF,. Bolivia.
- Serrano, C. G. (2010). *Ingeniería del riego y drenaje*. La Paz-Bolivia: 246 p.
- SNET. (2005). *Balance hidrico integrado y dinamico*. Salvador: <http://portafolio.snet.gob.sv>.
- U., T. P. (2002). *Fitotecnia: ingeniería de la producción vegetal*. Madrid: Ediciones MundiPrensa 528 pag.
- Urquiza, I. (1999). *Evaluacion de la Disponibilidad y Aprovechamiento de Recursos Hidricos en la Comunidad de Choquenaira (Subcuenca Pallina, La pAZ)*. La Paz, Ingavi, Bolivia.
- Van Damme, P. (2002). *Uso y calidad de los recursos hidricos en Bolivia, Cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible*. Johannesburgo.
- Vasquez a. (2000). *Manejo de cuencas altoandinas. Tomo II*. Perú: Escuela Superior de administración "Charles Sutton". 516 p.
- Vásquez, A. T. (2000). *Manejo de cuencas alto andinas*. La Molina.
- Vasquez, A. Torres, C. Teran, R. ((2000)). *Manejo de cuencas alto andinas*. La Molina: Universidad Nacional Agraria, 516 p.
- Villon, M. (2002). *Hidrología*. Lima, Peru: 2da Edicion, 435 p.

ANEXOS

Anexo 1. Datos climáticos y precipitación efectiva

ETo Penman-Monteith Mensual - D:\UJVE 2019\CLIMWAT2019 TESIS\ETo.PEM

País Bolivia Estación PATACAMAYA
 Altitud 3789 m. Latitud 17.20 'S Longitud 67.91 'W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	5.8	22.7	74	104	8.6	24.1	4.54
Febrero	6.0	21.9	75	104	7.5	21.9	4.15
Marzo	4.7	21.1	70	104	8.2	21.7	4.00
Abril	2.1	19.3	61	104	8.6	20.0	3.53
Mayo	-1.6	16.5	51	104	8.3	17.3	2.87
Junio	-4.8	14.6	45	104	8.6	16.4	2.51
Julio	-4.7	14.9	43	104	8.7	17.1	2.57
Agosto	-2.6	16.8	45	104	8.6	19.0	3.03
Septiembre	1.5	19.1	52	104	9.0	21.9	3.73
Octubre	3.0	22.6	54	104	9.1	23.9	4.44
Noviembre	4.5	24.3	54	104	8.9	24.3	4.82
Diciembre	5.7	22.6	64	104	8.5	23.9	4.61
Promedio	1.6	19.7	57	104	8.6	21.0	3.73

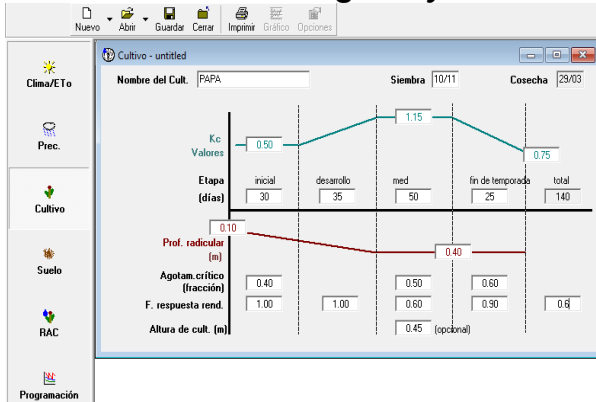
CROPWAT - Sesión: untitled

Precipitación mensual - D:\UJVE 2019\CLIMWAT2019 TESIS\Precipitacion.CRM

Estación PATACAMAYA Método Prec. Et Método USDA S.C.

	Precipit. mm	Prec. efec. mm
Enero	88.0	75.6
Febrero	69.0	61.4
Marzo	47.0	43.5
Abril	15.0	14.6
Mayo	8.0	7.9
Junio	2.0	2.0
Julio	1.0	1.0
Agosto	9.0	8.9
Septiembre	37.0	34.8
Octubre	18.0	17.5
Noviembre	33.0	31.3
Diciembre	76.0	66.8
Total	403.0	365.2

Anexo 2. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de papa



Suelo - untitled

Nombre del suelo Franco Arena Limoso

Datos generales de suelo:

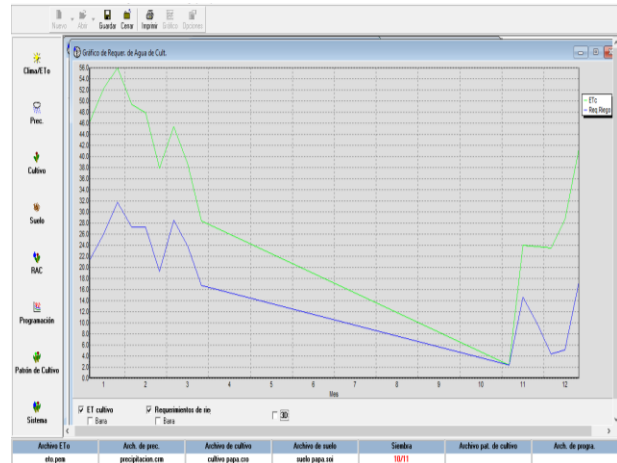
Humedad de suelo disponible total (CC-FMP)	150.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	40	mm/día
Profundidad radicular máxima	50	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de AD1)	1	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	140.9	mm/metro

Anexo 3. Requerimiento de riego del cultivo de papa

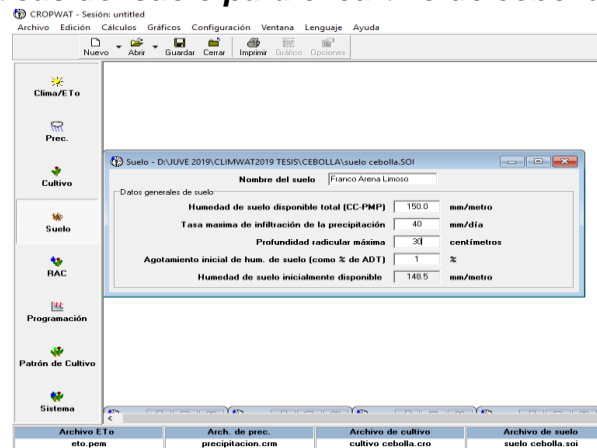
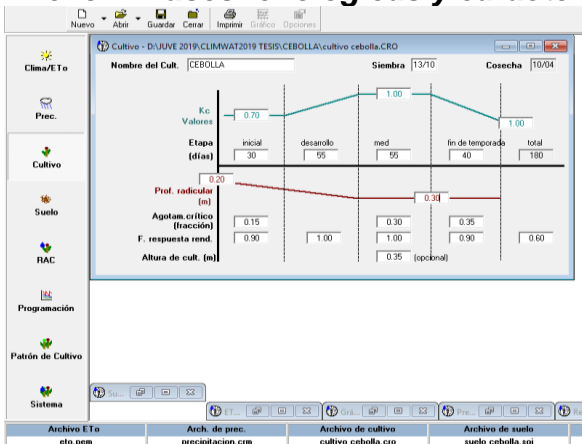
Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ET PATACAMAYA Cultivo PAPA Fecha de siembra 10/11

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req Riego mm/dec
Nov	1	Inc	0.50	2.35	2.3	0.8	15.2
Nov	2	Inc	0.50	2.41	24.1	9.4	14.7
Nov	3	Inc	0.50	2.37	23.7	13.7	10.0
Dic	1	Des	0.50	2.35	23.5	19.1	4.3
Dic	2	Des	0.62	2.87	28.7	23.5	5.2
Dic	3	Des	0.82	3.75	41.3	24.1	17.2
Ene	1	Des	1.01	4.63	46.3	24.9	21.4
Ene	2	Med	1.15	5.22	52.2	26.3	26.0
Ene	3	Med	1.16	5.10	56.1	24.3	31.7
Feb	1	Med	1.16	4.94	49.4	22.1	27.3
Feb	2	Med	1.16	4.79	47.9	20.6	27.3
Feb	3	Med	1.16	4.73	37.9	18.6	19.3
Mar	1	Fin	1.12	4.54	45.4	16.8	28.6
Mar	2	Fin	0.97	3.98	39.8	15.0	23.9
Mar	3	Fin	0.82	3.15	28.4	9.5	16.7
					546.0	268.8	275.9



Anexo 4. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de cebolla



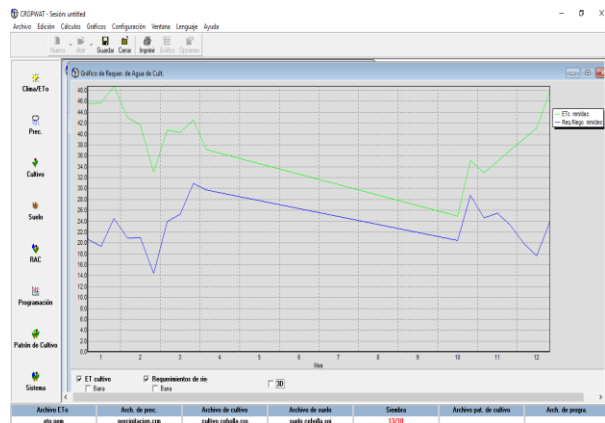
Anexo 5. Requerimiento de agua para el cultivo de cebolla

Requerimiento de Agua del Cultivo

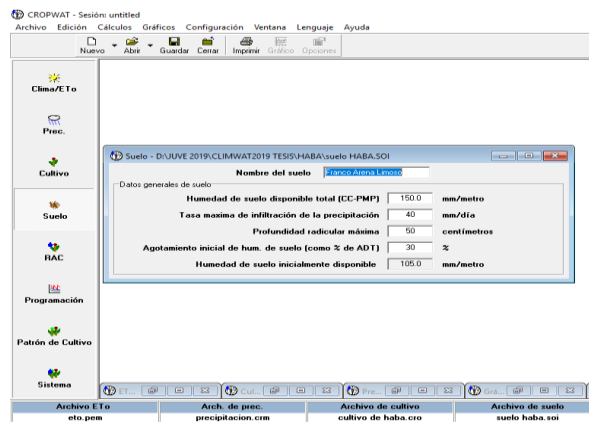
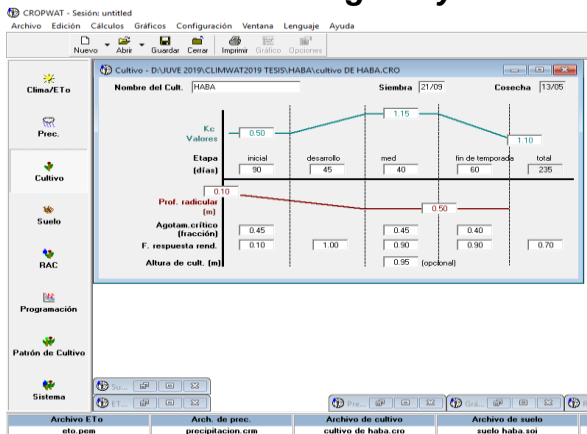
Estación ET **PATACAMITA** Cultivo **CEBOLLA**

Est. de lluvia **PATACAMITA** Fecha de siembra **13/10**

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	Prec. efec.	Req. Riego	
			coef	mm/día	mm/déc	mm/déc	
Oct	2	Inc	0.70	2.11	24.9	3.5	20.5
Oct	3	Inc	0.70	3.20	35.2	6.4	28.8
Nov	1	Inc	0.70	3.28	32.8	8.2	24.6
Nov	2	Des	0.72	3.49	34.9	9.4	25.5
Nov	3	Des	0.78	3.70	37.0	13.7	23.3
Dic	1	Des	0.84	3.91	39.1	19.1	20.0
Dic	2	Des	0.99	4.11	41.1	23.5	17.6
Dic	3	Des	0.95	4.36	47.9	24.1	23.9
Ene	1	Med	1.00	4.56	45.6	24.9	20.7
Ene	2	Med	1.01	4.57	45.7	26.3	19.4
Ene	3	Med	1.01	4.43	48.8	24.3	24.5
Feb	1	Med	1.01	4.30	43.0	22.1	20.9
Feb	2	Med	1.01	4.17	41.7	20.6	21.1
Feb	3	Med	1.01	4.12	32.9	18.6	14.4
Mar	1	Fin	1.01	4.00	40.0	16.9	23.9
Mar	2	Fin	1.01	4.03	40.3	15.0	25.3
Mar	3	Fin	1.01	3.87	42.6	11.6	30.9
Abr	1	Fin	1.01	3.71	37.1	7.4	29.7
					711.4	295.6	414.9



Anexo 6. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de haba



Anexo 7. Requerimiento de agua para el cultivo de haba

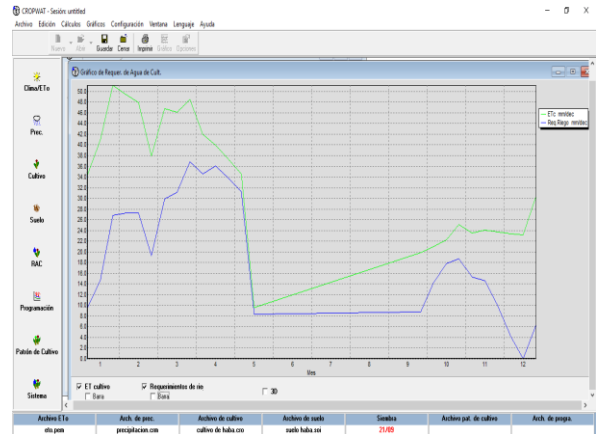
CROPWAT - Sesión: untitled

Estación ET de PATACAMAYA

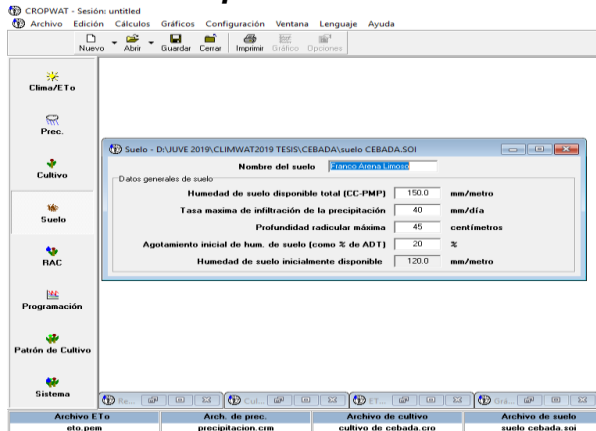
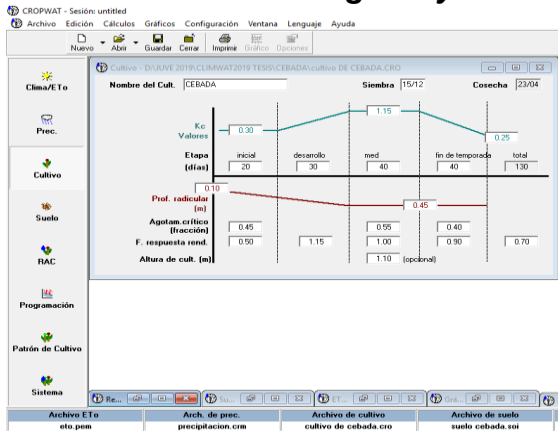
Cultivo: HABA

Fecha de siembra: 21/09

Mes	Decada	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req. Riego mm/dec
Oct	3	Inc	0.50	2.26	25.1	0.4	18.7
Nov	1	Inc	0.50	2.35	23.5	8.2	15.2
Nov	2	Inc	0.50	2.41	24.1	9.4	14.7
Nov	3	Inc	0.50	2.37	23.7	13.7	10.0
Dic	1	Inc	0.50	2.34	23.4	19.1	4.2
Dic	2	Des	0.50	2.31	23.1	23.5	0.0
Dic	3	Des	0.60	2.76	30.4	24.1	6.3
Ene	1	Des	0.75	3.45	34.5	24.9	9.5
Ene	2	Des	0.90	4.09	40.9	26.3	14.7
Ene	3	Des	1.05	4.65	51.1	24.3	26.8
Feb	1	Med	1.15	4.94	49.4	22.1	27.2
Feb	2	Med	1.16	4.75	47.5	20.6	27.3
Feb	3	Med	1.16	4.73	37.9	18.6	19.3
Mar	1	Med	1.16	4.69	46.8	16.8	29.9
Mar	2	Fin	1.15	4.61	46.1	15.0	31.1
Mar	3	Fin	1.15	4.41	44.1	11.6	32.9
Abr	1	Fin	1.14	4.20	42.0	7.4	34.6
Abr	2	Fin	1.13	4.00	40.0	3.9	36.1
Abr	3	Fin	1.13	3.73	37.3	3.5	33.8
May	1	Fin	1.12	3.46	34.6	3.4	31.2
May	2	Fin	1.12	3.20	32.0	0.8	8.3
					802.8	325.8	476.9



Anexo 8. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de cebada



Anexo 9. Requerimiento de agua para el cultivo de cebada

CROPWAT - Sesión: untitled

Requerimiento de Agua del Cultivo

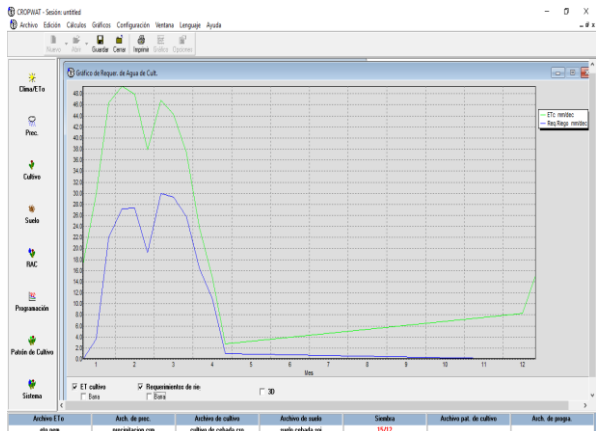
Estación ET de PATACAMAYA

Cultivo: CEBADA

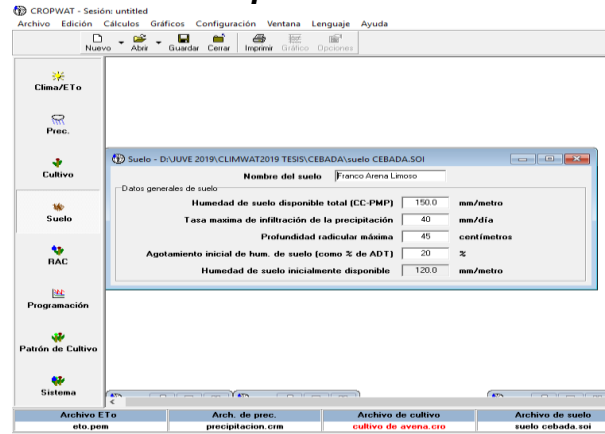
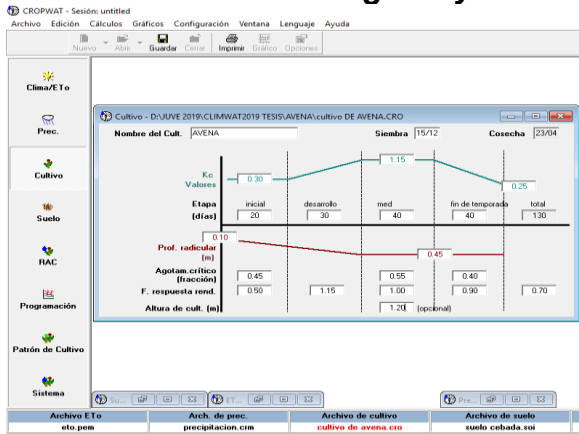
Est. de Buvia PATACAMAYA

Fecha de siembra: 15/12

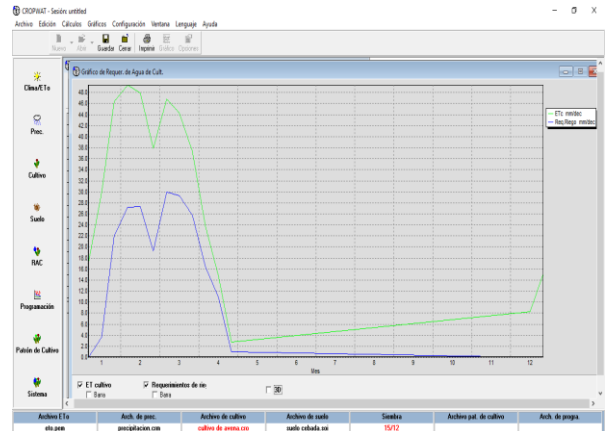
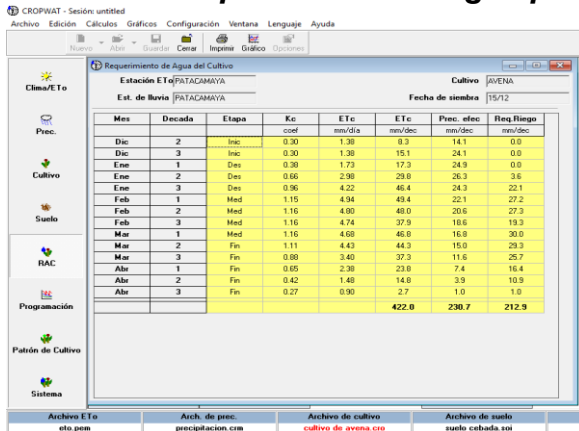
Mes	Decada	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req. Riego mm/dec
Dic	2	Inc	0.30	1.38	6.3	14.1	8.0
Dic	3	Inc	0.30	1.38	15.1	24.1	6.0
Ene	1	Des	0.30	1.73	17.3	24.9	6.0
Ene	2	Des	0.66	2.90	29.0	26.3	3.6
Ene	3	Des	0.96	4.22	42.4	24.3	22.1
Feb	1	Med	1.15	4.94	49.4	22.1	27.2
Feb	2	Med	1.16	4.80	48.0	20.6	27.3
Feb	3	Med	1.16	4.74	37.9	18.6	19.3
Mar	1	Med	1.16	4.69	46.8	16.8	30.0
Mar	2	Fin	1.11	4.43	44.3	15.0	29.3
Mar	3	Fin	0.88	3.40	37.3	11.6	25.7
Abr	1	Fin	0.85	2.38	23.8	7.4	16.4
Abr	2	Fin	0.42	1.48	14.8	3.9	10.9
Abr	3	Fin	0.27	0.90	2.7	1.0	1.0
					422.6	230.7	212.8



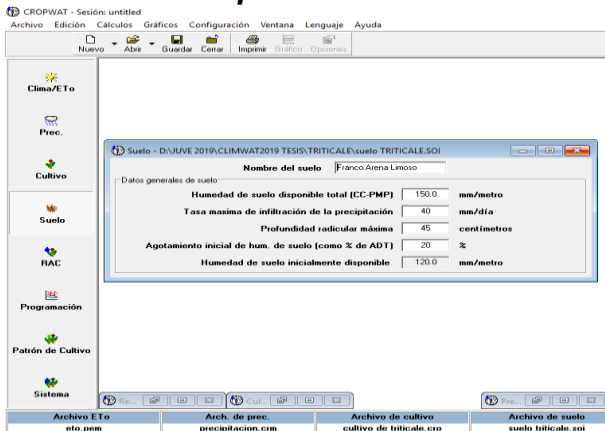
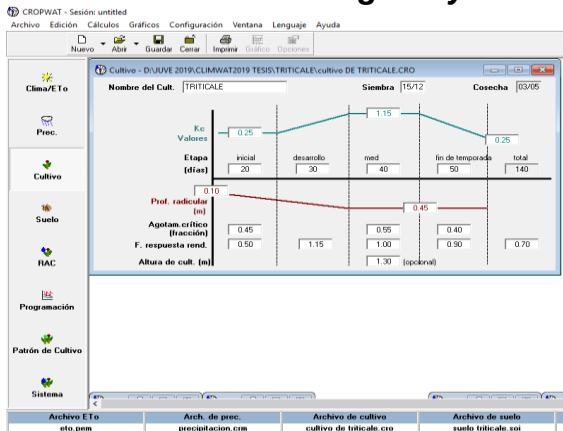
Anexo 10. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de avena



Anexo 11. Requerimiento de agua para el cultivo de avena



Anexo 12. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de triticale



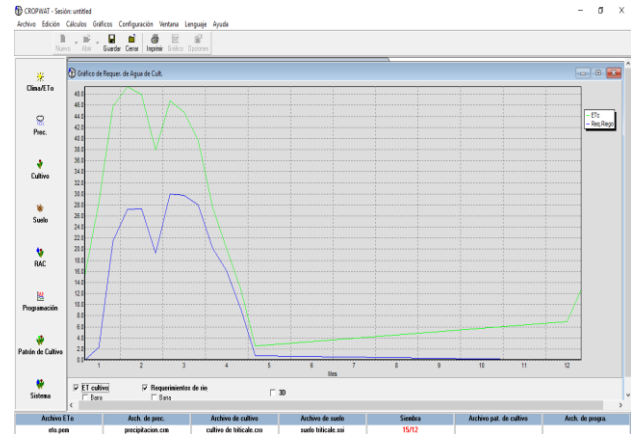
Anexo 13. requerimiento de agua del cultivo de triticale

CROPWAT - Sesión: untitled

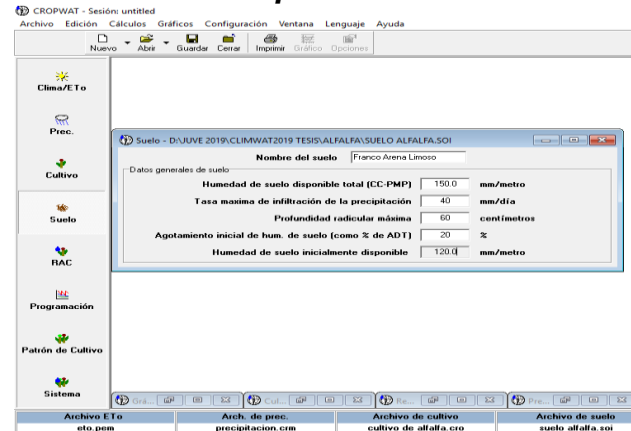
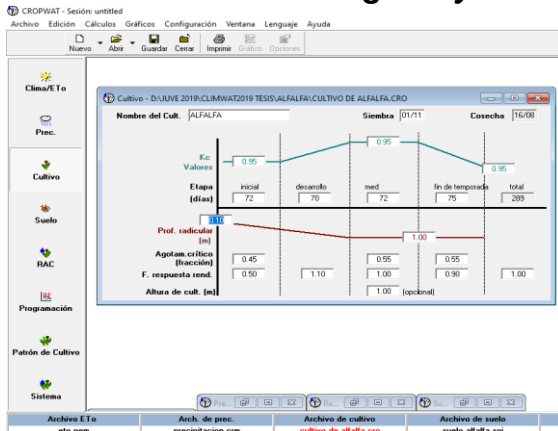
Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ET (PATACAMAYA) Cultivo: TRITICALE
Est. de Riego: PATACAMAYA Fecha de siembra: 15/12

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/déc	Prec. efec mm/déc	Req Riego mm/déc
Dic	2	Inc	0.25	1.15	6.9	14.1	0.0
Dic	3	Inc	0.25	1.15	12.6	24.1	0.0
Ene	1	Des	0.33	1.53	15.3	24.3	0.0
Ene	2	Des	0.63	2.86	28.5	26.3	2.3
Ene	3	Des	0.94	4.17	45.8	24.3	21.5
Feb	1	Med	1.15	4.94	49.4	22.1	27.2
Feb	2	Med	1.16	4.90	49.0	20.6	27.4
Feb	3	Med	1.16	4.74	37.9	18.6	19.3
Mar	1	Med	1.16	4.68	46.8	16.8	30.0
Mar	2	Fin	1.12	4.47	44.7	15.0	29.7
Mar	3	Fin	0.94	3.60	36.0	11.6	28.0
Abr	1	Fin	0.75	2.25	22.6	7.4	20.1
Abr	2	Fin	0.57	2.00	20.0	3.9	16.1
Abr	3	Fin	0.39	1.28	12.8	3.5	9.3
May	1	Fin	0.27	0.83	2.5	1.8	0.8
				428.3	234.2	231.9	



Anexo 14. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de alfalfa



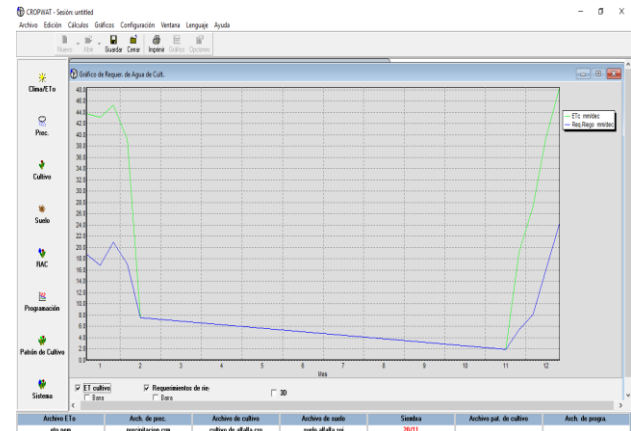
Anexo 15. Requerimiento de agua para el cultivo de alfalfa

CROPWAT - Sesión: untitled

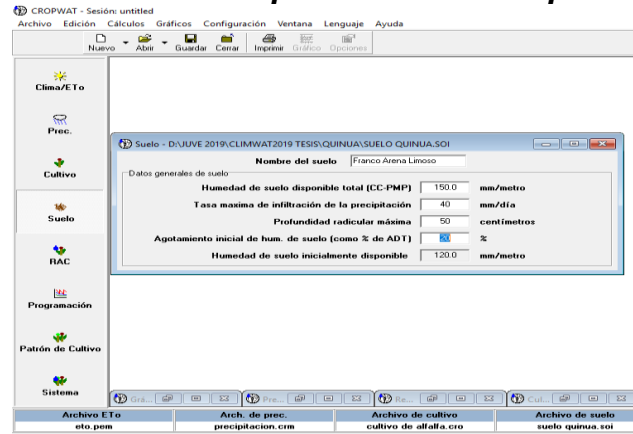
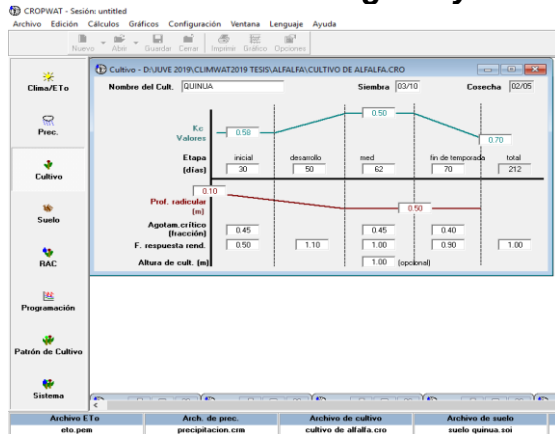
Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ET (PATACAMAYA) Cultivo: ALFALFA
Est. de Riego: PATACAMAYA Fecha de siembra: 20/11

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/déc	Prec. efec mm/déc	Req Riego mm/déc
Nov	2	Inc	0.40	1.93	1.9	0.9	1.9
Nov	3	Des	0.40	1.91	19.1	13.7	5.4
Dic	1	Des	0.60	2.72	27.2	19.1	8.1
Dic	2	Med	0.66	3.96	39.6	23.5	16.1
Dic	3	Med	0.96	4.40	44.0	24.1	24.3
Ene	1	Fin	0.96	4.38	43.8	24.9	18.8
Ene	2	Fin	0.95	4.31	43.1	26.3	16.8
Ene	3	Fin	0.93	4.11	45.2	24.3	20.9
Feb	1	Fin	0.92	3.92	39.2	22.1	17.1
Feb	2	Fin	0.91	3.77	7.5	4.1	7.5
				315.0	183.1	137.0	



Anexo 16. Fases fenológicas y características del suelo para el cultivo de quinua

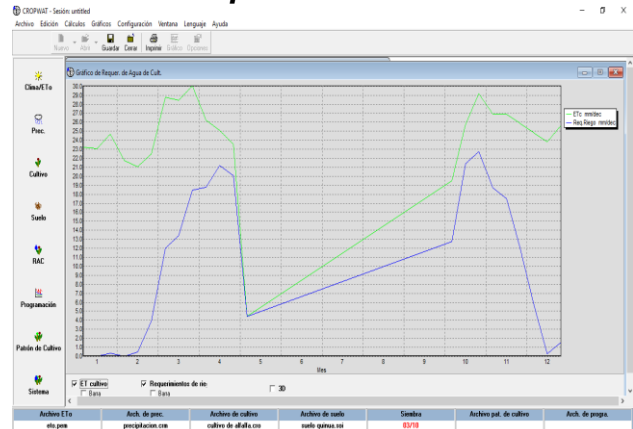


Anexo 17. Requerimiento de agua para el cultivo de quinua

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ET [PATACAMAYA] Cultivo [QUINUA]
 Est. de lluvia [PATACAMAYA] Fecha de siembra [03/10]

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETe mm/déc	Prec. efec mm/déc	Req. Riego mm/déc
Oct	2	Inc	0.50	2.50	25.0	4.4	21.4
Oct	3	Inc	0.50	2.65	26.5	6.4	20.6
Nov	1	Des	0.57	2.69	26.9	8.2	18.7
Nov	2	Des	0.56	2.69	26.9	9.4	17.5
Nov	3	Des	0.54	2.59	25.9	13.7	12.2
Dic	1	Des	0.53	2.40	24.0	19.1	5.7
Dic	2	Des	0.52	2.30	23.0	23.5	0.3
Dic	3	Med	0.51	2.33	23.6	24.1	1.6
Ene	1	Med	0.51	2.32	23.2	24.9	0.0
Ene	2	Med	0.51	2.31	23.1	26.3	0.0
Ene	3	Med	0.51	2.24	22.4	24.3	0.3
Feb	1	Med	0.51	2.18	21.8	22.1	0.0
Feb	2	Med	0.51	2.11	21.1	20.6	0.5
Feb	3	Fin	0.69	2.61	22.5	18.6	3.9
Mar	1	Fin	0.71	2.89	28.9	16.9	12.0
Mar	2	Fin	0.71	2.94	29.4	15.0	13.4
Mar	3	Fin	0.71	2.73	27.3	30.0	11.4
Abr	1	Fin	0.71	2.62	26.2	7.4	18.8
Abr	2	Fin	0.71	2.51	25.1	3.9	21.2
Abr	3	Fin	0.71	2.35	23.5	3.5	20.1
May	1	Fin	0.71	2.20	22.0	4.4	17.6
				531.1	309.9	225.0	



Anexo 18. Resultados de análisis de agua del pozo superficial uno

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : *JUVENAL CHOQUE CHURA*

Nº SOLICITUD: *209A / 2018*

PROCEDENCIA : *Departamento : LA PAZ,*

FECHA DE RECEPCION : *29 / Noviembre / 2018*

Provincia : AROMA;

FECHA DE ENTREGA : *31 / Diciembre / 2018*

PATACAMAY

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES - "UMSA"

DESCRIPCIÓN : *Muestra de agua : Pozo Nº 1*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
658-01 2018	pH	8,39	-	Potenciometría
658-02 2018	Conductividad eléctrica	1291,00	µS/cm	Conductancia
658-03 2018	Sodio	96,54	mg / L	Flamometría
658-04 2018	Potasio	13,93	mg / L	Flamometría
658-05 2018	Calcio	105,22	mg / L	Absorción atómica
658-06 2018	Magnesio	18,28	mg / L	Absorción atómica
658-07 2018	Cloruros	124,88	mg / L	Método argentométrico
658-08 2018	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetría
658-09 2018	Bicarbonatos	135,16	mg / L	Volumetría
658-10 2018	Sulfatos	280,83	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
658-11 2018	Sólidos Suspendidos	1,20	mg / L	Gravimétrico
658-12 2018	Sólidos Totales	800,23	mg / L	Gravimétrico
658-13 2018	Sólidos Disueltos	798,84	mg / L	Gravimétrico
658-14 2018	Boro	0,33	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES.-



RESPONSABLE DE LABORATORIO

JORGE CHUNGARA C.



Scanned with
CamScanner

Anexo 19. Resultados de análisis de agua del pozo superficial dos

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : *JUVENAL CHOQUE CHURA*
 PROCEDENCIA : *Departamento : LA PAZ,*
Provincia : AROMA;
PATACAMAY
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES - "UMSA"

N° SOLICITUD: *209B / 2018*
 FECHA DE RECEPCION : *29 / Noviembre / 2018*
 FECHA DE ENTREGA : *31 / Diciembre / 2018*

DESCRIPCIÓN : *Muestra de agua : Pozo N° 2*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
659-01 2018	pH	8,33	-	Potenciometria
659-02 2018	Conductividad eléctrica	1020,00	µS/cm	Conductancia
659-03 2018	Sodio	59,28	mg / L	Fiamometria
659-04 2018	Potasio	15,32	mg / L	Fiamometria
659-05 2018	Calcio	109,77	mg / L	Absorción atómica
659-06 2018	Magnesio	17,32	mg / L	Absorción atómica
659-07 2018	Cloruros	131,84	mg / L	Método argentométrico
659-08 2018	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetria
659-09 2018	Bicarbonatos	258,62	mg / L	Volumetria
659-10 2018	Sulfatos	133,60	mg / L	Espectrofotometria UV-Visible
659-11 2018	Sólidos Suspendidos	0,20	mg / L	Gravimétrico
659-12 2018	Sólidos Totales	759,00	mg / L	Gravimétrico
659-13 2018	Sólidos Disueltos	758,50	mg / L	Gravimétrico
659-14 2018	Boro	0,84	mg / L	Espectrofotometria UV-Visible

OBSERVACIONES.-



[Handwritten Signature]

RESPONSABLE DE LABORATORIO
 JORGE CHUNGARA C.

Of. Av. 4 de Agosto 2905, Telf.: 2433481 - 2430309 - 2433877 - 2128383 Fax: (0591-2) 2433063, La Paz - Bolivia Casilla 4821, Telf.-2800095 CIN-Viacha, E-mail: ibten@entelnet.bo * Página Web: www.ibten.gob.bo



CamScanner

Anexo 20. Parcelas con instalación de riego

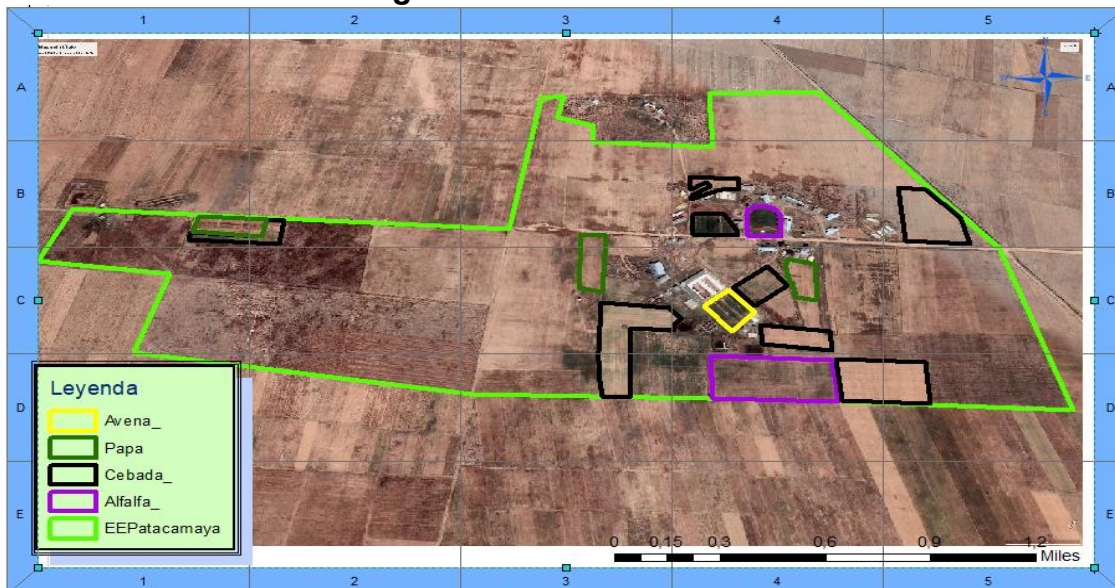


Fuente: Elaboración propia 2019

Anexo 21. Área con cultivo gestión 2017-2018



Anexo 22. Áreas con cultivo gestión 2018-2019



Anexo 23. Área con cultivo gestión 2019-2020



Anexo 24. Muestra de agua y pozo superficial



Anexo 25. Pozos superficiales uno y dos

