

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



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACION DE RECURSOS HIDRICOS, CON FINES DE RIEGO, EN LA  
MICROCUENCA KERAYA DEL MUNICIPIO DE CAIROMA**

**Presentado por:**  
**Ronald Freddy Peralta Laura**

**La Paz – Bolivia**  
**2017**

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

**EVALUACION DE RECURSOS HIDRICOS, CON FINES DE RIEGO, EN LA**  
**MICROCUENCA KERAYA DEL MUNICIPIO DE CAIROMA**

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

**RONALD FREDDY PERALTA LAURA**

**Asesores:**

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

**Revisores**

Ing. M.Sc. Genaro Serrano Coronel .....

Ing. Rolando Céspedes Paredes .....

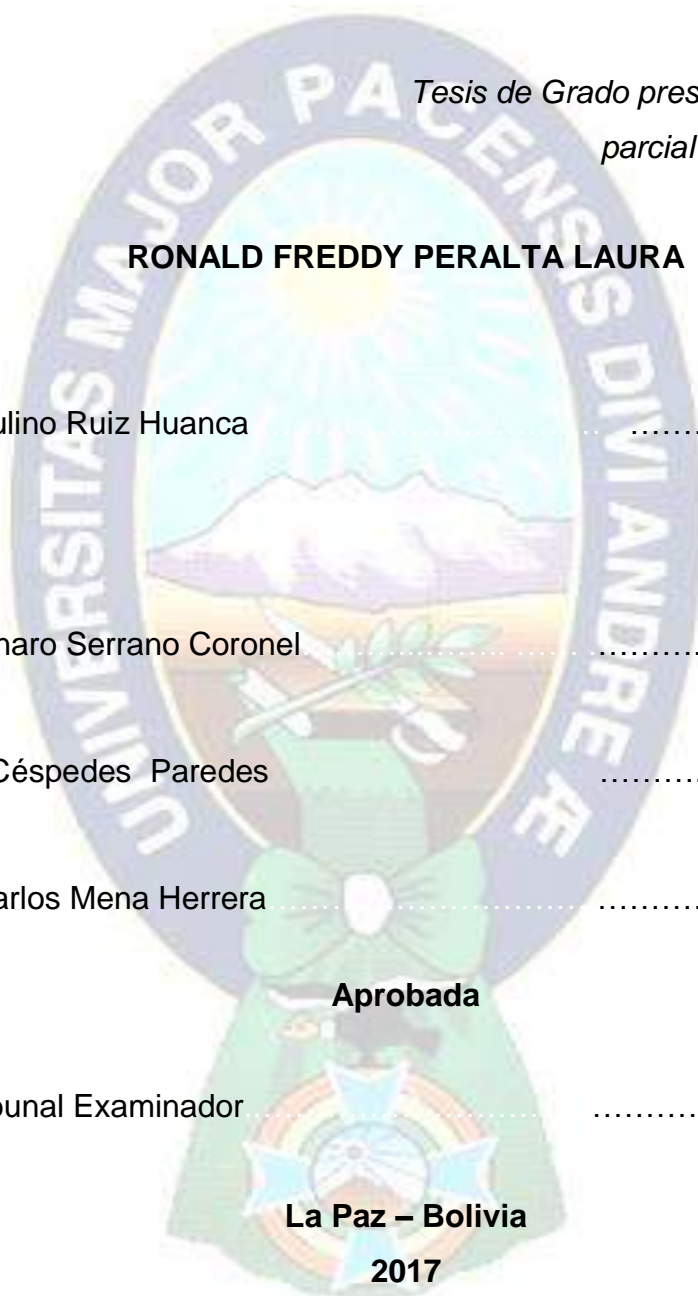
Ing. Freddy Carlos Mena Herrera .....

**Aprobada**

Presidente tribunal Examinador .....

**La Paz – Bolivia**

**2017**



## CONTENIDO GENERAL

	<b>Pág.</b>
Dedicatoria.....	<b>I</b>
Agradecimientos.....	<b>II</b>
Índice General.....	<b>III</b>
Índice de Anexos.....	<b>VI</b>
Índice de Figuras.....	<b>VII</b>
Índice de Tablas .....	<b>VIII</b>
Resumen.....	<b>IX</b>
Summary.....	<b>X</b>

## DEDICATORIA

*A Dios todopoderoso por haberme bendecido sabiduría para realizar mis estudios universitarios alcanzando la culminación de una de mis metas en mi vida.*

*A, mis padres Abdón Peralta Lino y Albertina Laura Alvarez por el apoyo, por los valores y por el ejemplo a seguir.*

*Con mucho amor y orgullo a mi hija Gissel por ser la motivación y alegría de mi vida.*

*A mi querida esposa Mery por su gran apoyo incondicional, por su compañía en momentos de alegría y tristeza.*

*A mis hermanos Merida, Wilder y Emelin*

*Ronald Freddy Peralta Laura*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Mayor de San Andrés y la facultad de agronomía por el importante papel que cumplió en mi formación académica.

Al Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) por la facilitación de equipos de trabajo y equipo técnico en general quienes apoyaron en la capacitación sobre la evaluación hidrológica de cuencas y manejo de equipos de trabajo.

Al Ing. M.Sc. Paulino Ruiz Huanca, que en su condición de asesor del trabajo impartió consejos para el buen desarrollo de la investigación sobre la implementación de nuevas metodologías de estudio en el área del riego superficial.

A los ingenieros, Genaro Serrano Coronel, Freddy Carlos Mena Herrera y Rolando Céspedes Paredes, revisores del trabajo por su colaboración, observaciones y paciencia durante la revisión del presente documento.

A las empresas Constructora COINSO y Consultora y Constructora IREMPRO S.R.L. por la experiencia impartida en el área y por la facilitación de equipos de trabajo.

Al Municipio de Cairoma y regantes en general quienes permitieron el trabajo en todo el área de estudio y por la convivencia compartida.

Y desde luego a mis compañeros y amigos de la facultad de Agronomía e ingeniería por el apoyo moral consecuente durante el todo el tiempo de desarrollo del trabajo de investigación.

Muchas Gracias.

*Ronald Freddy Peralta Laura*

## INDICE GENERAL

### Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Objetivo general .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Recursos hídricos .....</b>	<b>13</b>
3.1.1 Recursos hídricos de Bolivia.....	13
<b>3.2 Aguas superficiales .....</b>	<b>13</b>
3.2.1 Ríos .....	14
3.2.2 Clasificación de los cursos de agua.....	15
3.2.3 Lagos .....	15
3.2.4 Lagunas .....	15
3.2.5 Reservorios.....	15
<b>3.3 Sistema de riego .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4 Cuenca hidrográfica.....</b>	<b>16</b>
3.4.1 Elementos de una cuenca hidrográfica .....	17
<b>3.5 Cuenca hidrológica .....</b>	<b>18</b>
3.5.1 Parámetros físicos de una cuenca .....	18
3.5.2 Parámetros de forma.....	19
3.5.3. Parámetros del sistema de drenaje.....	19
3.5.4. Parámetros de relieve.....	20

<b>3.6 Balance hídrico de una cuenca.....</b>	<b>21</b>
<b>3.7 Calidad de aguas.....</b>	<b>22</b>
3.7.1 Concentración total de sales solubles .....	23
3.7.2. Conductividad eléctrica (CE) .....	23
3.7.3. Contenido de Calcio.....	24
3.7.4 Contenido de Magnesio.....	24
3.7.5 Contenido de Potasio .....	24
3.7.6 Contenido de Aniones .....	24
3.7.7 Concentración relativa de Sodio .....	25
3.7.8 RAS.....	25
<b>4. LOCALIZACIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Ubicación geográfica .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Características físicas .....</b>	<b>28</b>
4.2.1. Clima .....	29
4.2.2. Suelo .....	29
4.2.3. Fisiografía .....	29
4.2.4 Tenencia de tierra y actividad agropecuaria.....	30
<b>5. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1. Materiales .....</b>	<b>31</b>
5.1.1. Material de campo .....	31
5.1.2. Material de laboratorio.....	31
5.1.3. Material de gabinete .....	31
<b>5.2. Metodología.....</b>	<b>32</b>
5.2.1 Fase pre campo .....	32
5.2.2. Fase de trabajo en Campo .....	32
5.2.3. Fase de trabajo en laboratorio.....	35
5.2.4. Fase de trabajo en gabinete.....	38
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>42</b>

<b>6.1. Inventario de las fuentes de agua .....</b>	<b>42</b>
<b>6.3. Determinación de los parámetros físicos de la cuenca .....</b>	<b>46</b>
6.3.1. Determinación de los parámetros físicos de relieve de la Cuenca Keraya.....	46
<b>6.3.2. Determinación de los parámetros físicos de forma de la Cuenca Keraya</b>	<b>50</b>
<b>6.3.3. Determinación de los parámetros físicos de drenaje de la Cuenca Keraya</b>	<b>51</b>
<b>6.4. Balance hidrológico de la Cuenca Keraya .....</b>	<b>58</b>
6.4.1. Oferta de agua.....	58
6.4.2. Demanda de agua.....	60
6.4.3. Balance hidrológico .....	64
<b>6.4. Análisis de la calidad de aguas en la Cuenca Keraya .....</b>	<b>66</b>
6.4.1. Análisis estadístico de la calidad de aguas del Río Keraya y la Represa Choquecota .....	69
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>7.1. Conclusiones.....</b>	<b>74</b>
<b>7.2. Recomendaciones .....</b>	<b>76</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA. ....</b>	<b>77</b>



## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Rangos de áreas referenciales para las unidades hidrográficas	80
<b>Anexo 2.</b> Caracterización de relieve de una cuenca, según Heras, de acuerdo a su pendiente .....	80
<b>Anexo 3.</b> Límites de concentración de acuerdo al riesgo de salinidad.....	80
<b>Anexo 4.</b> Límites de concentración de la relación de absorción de sodio.	81
<b>Anexo 5.</b> Clasificación de aguas de riego de acuerdo al contenido de Boro .....	81
<b>Anexo 6.</b> Rio Keraya en época de crecida .....	82
<b>Anexo 7.</b> Rio Keraya en época de estiaje .....	83
<b>Anexo 8.</b> Represa Choquecota.....	84
<b>Anexo 9.</b> Identificación de fuentes de agua .....	85
<b>Anexo 10.</b> Identificación de Sistemas de Riego .....	86
<b>Anexo 11.</b> Características Físicas en la cuenca Keraya .....	87
<b>Anexo 12.</b> Calculo del balance hídrico mediante el software ABRO 3.1 ..	88
<b>Anexo 13.</b> Análisis Físico Químico de Aguas Represa Choquecota .....	97
<b>Anexo 14.</b> Análisis Físico Químico de Aguas Cuenca Keraya .....	98

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio (INE, 2011).....	27
<b>Figura 2.</b> Reconocimiento del área de estudio .....	32
<b>Figura 3.</b> Reuniones en el trabajo sectorial (limpieza de canal) para explicar la investigación. ....	33
<b>Figura 4.</b> Delimitación de la cuenca hidrológica .....	47
<b>Figura 5.</b> Mapa de pendientes de la Cuenca Keraya .....	49
<b>Figura 6.</b> Rectángulo equivalente al área de la Cuenca Keraya .....	50
<b>Figura 7.</b> Orden de la red de drenaje de la Cuenca Keraya .....	52
<b>Figura 8.</b> Balance agrícola de los cultivos en la Cuenca Keraya.....	64
<b>Figura 9.</b> Diagrama de dispersión de los parámetros de análisis de aguas .....	72
<b>Figura 10.</b> Regresión lineal de los parámetros de análisis de aguas.....	72

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Identificación e Inventariación de las fuentes de agua .....	42
<b>Tabla 2.</b> Identificación e Inventariación de los sistemas de riego .....	44
<b>Tabla 3.</b> Parámetros de relieve de la Cuenca Keraya .....	46
<b>Tabla 4.</b> Áreas por pendientes en la Cuenca Keraya .....	48
<b>Tabla 5.</b> Parámetros de forma de la Cuenca Keraya .....	51
<b>Tabla 6.</b> Parámetros de drenaje de la Cuenca Keraya.....	51
<b>Tabla 7.</b> Longitudes de Orden 1 de la red de drenaje de la Cuenca Keraya .....	53
<b>Tabla 8.</b> Longitudes de Orden 2 de la red de drenaje de la Cuenca Keraya .....	55
<b>Tabla 9.</b> Longitudes de Orden 3 de la red de drenaje de la Cuenca Keraya .....	55
<b>Tabla 10.</b> Probabilidad de precipitaciones en la Cuenca Keraya .....	58
<b>Tabla 11.</b> Oferta de agua en la Cuenca Keraya .....	59
<b>Tabla 12.</b> Área y eficiencias del sistema de riego actual en la Cuenca Keraya.....	60
<b>Tabla 13.</b> Demanda de agua en la Cuenca Keraya .....	62
<b>Tabla 14.</b> Demanda de agua del cultivo de haba en la Cuenca Keraya ...	62
<b>Tabla 15.</b> Demanda de agua del cultivo de papa (1ra siembra) en la Cuenca Keraya.....	63
<b>Tabla 16.</b> Demanda de agua del cultivo de papa (2da siembra) en la Cuenca Keraya.....	63
<b>Tabla 17.</b> Demanda de agua del cultivo de maíz en la Cuenca Keraya ...	63
<b>Tabla 18.</b> Balance edafo - climática del agua en la Cuenca Keraya .....	65
<b>Tabla 19.</b> Resultados del análisis de aguas del Río Keraya .....	66
<b>Tabla 20.</b> Resultados del análisis de aguas de la Represa Choquecota ...	68
<b>Tabla 21.</b> Análisis de correlación de los parámetros de calidad de aguas	70
<b>Tabla 22.</b> Análisis de regresión lineal.....	71
<b>Tabla 23.</b> Coeficientes de regresión y estadísticos asociados.....	71
<b>Tabla 24.</b> Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) .....	71

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación plantea los recursos hídricos de la Cuenca Keraya, es un estudio que tiene por objeto proporcionar información básica para una planificación de los recursos hídricos en la Cuenca Keraya, que pueda beneficiar a ocho comunidades en estudio.

Se inició con una recopilación y actualización de la información utilizando herramientas SIG y en base a dicha información se realizó una evaluación de los recursos hídricos, evaluando los parámetros físicos de la cuenca.

En la metodología empleada se consideró al usuario y la comunidad como protagonista central para la identificación y posterior inventariación de las fuentes de agua y sistemas de riego, a través de entrevistas dirigidas y toma de datos técnicos de riego.

Mediante un estudio específico de la cuenca, se logró conocer que esta por su pendiente alta, no es propensa a inundaciones, pero si a riadas, por la alta intensidad de precipitación en época de lluvia y los suelos relativamente compactos.

El balance hídrico de la cuenca y la calidad de las aguas nos indicó que la zona es apta para el cultivo de papa, haba, maíz y hortalizas, siempre y cuando se haga un buen manejo de los recursos hídricos.

## SUMMARY

The present research presents the water resources of the Keraya Basin, a study that aims to provide basic information for a planning of water resources in the Keraya Basin, which can benefit eight communities under study.

It began with a compilation and updating of the information using GIS tools and based on this information an evaluation of the water resources was carried out, evaluating the physical parameters of the basin.

In the methodology used, the user and the community were considered as central protagonists for the identification and subsequent inventory of water sources and irrigation systems, through targeted interviews and technical data on irrigation.

By means of a specific study of the basin, it was possible to know that its high slope is not prone to floods, but to floods, due to the high intensity of precipitation in the rainy season and relatively compact soils.

The water balance of the basin and the quality of the waters indicated that the area is suitable for the cultivation of potatoes, beans, maize and vegetables, as long as a good management of the water resources is made.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El agua es un recurso fundamental para la vida y un factor esencial para el sector agropecuario, últimamente la escasez de agua es una de las principales amenazas para la humanidad, por lo que el estudio de los recursos hídricos en una región tiene especial importancia debido al predominio de las actividades relacionadas con el aprovechamiento de las fuentes de agua. A través de esto es posible obtener información valiosa para la gestión del agua, en términos de los usos: agrícolas, forestales, energéticos, de uso doméstico, construcción de obras civiles, etc.

El recurso agua es muy importante, este circula globalmente a través de su ciclo hidrológico, mediante la precipitación se genera todos los flujos hídricos en los ecosistemas, en función a las características climáticas de la región.

Para algunas regiones las precipitaciones alcanzan grandes magnitudes a lo largo del año, en cambio en otras regiones se manifiesta a través de prolongadas sequías.

La región de los valles interandinos de Bolivia presenta características naturales con una gran diversidad ecológica particularmente climáticas para el desarrollo de actividades agropecuarias.

En ella existen algunos sectores con condiciones climáticas influenciadas por la cordillera tres cruces, que conforman ecosistemas de alta productividad potencial para la región. Estos ecosistemas presentan una gran heterogeneidad natural, en la Cuenca Hidrográfica de Keraya del Municipio de Cairoma.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar los recursos hídricos superficiales, con fines de riego, en ocho comunidades de la Microcuenca Keraya del Municipio de Cairoma.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Identificar e inventariar las fuentes de aguas que mantienen los sistemas de riego existentes en el área de estudio.
- Determinar los parámetros físicos del área de estudio
- Analizar el balance hídrico de la micro cuenca en estudio
- Analizar el comportamiento de la calidad de agua para riego agrícola dentro de la Cuenca Keraya.

### **3. REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA**

#### **3.1 Recursos hídricos**

Según Custodio y Llamas citado por Peña (1994) citado por Coela (2010), 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.

Los recursos hídricos son útiles para el consumo humano, riego, energía, transporte, pesquería, turismo, etc. Consiguientemente, en caso de limitaciones, su empleo para uno de estos fines, puede reducir su uso para otros (ZONISIG, 2001).<sup>1</sup>

##### **3.1.1 Recursos hídricos de Bolivia**

Montes de Oca (1992) menciona que Bolivia es un país que cuenta con grandes recursos hídricos, superficiales y subterráneos. Los recursos hídricos superficiales que se forman en la cordillera de los Andes forman parte de tres grandes cuencas con ríos caudalosos, mucho de los cuales son navegables. Lagos y lagunas esparcidas por todo el territorio completan el marco de estos recursos. Los recursos hídricos subterráneos siguen en general la configuración de las cuencas superficiales.

Bolivia pertenece a tres grandes cuencas hidrográficas: la cuenca del Amazonas, la cuenca del río de La Plata y la cuenca Endorreica o Cerrada del Altiplano. Esta división generalmente es adoptada en la mayoría de los libros generales sobre el tema (Ven, 2002).<sup>2</sup>

#### **3.2 Aguas superficiales**

Según Peñaranda y Sejas (2003), las aguas superficiales son aquellas que tienen origen en las lluvias, cuando parte de estos recursos hídricos al caer sobre la superficie del suelo y haber alcanzado su máxima capacidad de retención, se pone

---

<sup>1</sup> ZONISIG. 2001. Metodología para el cálculo del balance hídrico del suelo. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, subsecretaría de ordenamiento territorial. La Paz – Bolivia.

<sup>2</sup> VEN, 2002. Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá – Colombia.



en dirección a la mayor pendiente, uniéndose según determinadas líneas con otras corrientes de agua, cuyos volúmenes forman torrentes, ríos y arroyos; estas son utilizadas con fines de riego. Cuando la pendiente disminuye las aguas se acumulan parcialmente originando lagos, lagunas y pantanos.

Durante el recorrido estas aguas sufren pérdidas por evaporación e infiltración, pudiéndose perderse total o parcialmente si a su paso encuentran terrenos permeables.

### 3.2.1 Ríos

Son corrientes de agua que pueden ser continuas o intermitentes. (Montes de Oca, 1997).

Según Londoño (2001), los ríos se forman como consecuencia del desagüe superficial de las precipitaciones líquidas y sólidas producidas en las montañas; también cuando afloran aguas subterráneas, como en el caso de los manantiales, y también se pueden originar por las aguas de fusión procedentes de nieves y glaciares.

El mismo autor menciona que el lecho de un río se estructura en tres sectores:

- **El curso superior**, donde el desnivel es máximo y la impetuosa velocidad de la corriente fluvial genera la máxima actividad erosiva.
- **El curso medio**, que transporta gran parte del material erosionado en el curso superior, que luego se deposita en el curso inferior.
- **El curso inferior**, en este último sector durante la denominada fase senil del río, la velocidad de la corriente, como consecuencia del escaso desnivel existente, se reduce hasta el punto que el río deja de transportar materiales sedimentarios.

### 3.2.2 Clasificación de los cursos de agua

Para Londoño (2001), teniendo en cuenta la constancia de la escorrentía, los cursos de agua se pueden clasificar en:

- **Perennes.** Corrientes con agua todo el tiempo y el nivel de agua subterránea mantiene una alimentación continua y no desciende nunca debajo del lecho del río.
- **Intermitentes.** Corrientes que escurren en estaciones de lluvia y se secan durante el verano, el nivel de agua subterránea se conserva por encima del nivel del lecho del río sólo en la estación lluviosa. En verano el escurrimiento cesa, u ocurre solamente durante o inmediatamente después de las lluvias.
- **Efímeros.** Existen apenas durante o inmediatamente después de los períodos de precipitación, y sólo transportan escurrimiento superficial. El nivel de agua subterránea se encuentra siempre debajo del nivel inferior del lecho de la corriente; no hay, por lo tanto, posibilidad de escurrimiento subterráneo.

### 3.2.3 Lagos

Se los define como cuerpos naturales de agua permanente de grandes dimensiones que reciben aportes. (Montes de Oca, 1997).

### 3.2.4 Lagunas

Son depósitos naturales de agua de dimensiones menores a un lago. (Montes de Oca, 1997).

### 3.2.5 Reservorios

Son acumulaciones artificiales de agua con fines de aprovechamiento. (Montes de Oca, 1997).

### **3.3 Sistema de riego**

Gerbrandy (1995) citado por Coela (2010), define a un sistema de riego como: “Todos los medios, servicios, materiales y de organización necesarias para conducir el agua desde la fuente de abastecimiento hasta los campos cultivados de los agricultores”.

Se define como un complejo de elementos físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales interrelacionados, ubicados en un espacio territorial determinado y dispuestos en torno al aprovechamiento de una fuente de agua mediante diversas obras administradas bajo la gestión de una organización de usuarios con la finalidad de usar, mantener y conservar el agua aplicada a un proceso de agricultura bajo riego (PRONAR<sup>3</sup>, 1998).

### **3.4 Cuenca hidrográfica**

Según Breña y Jacobo (2006), citado por Calle (2013), la cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología.

Vásquez et al (2000), menciona que una cuenca hidrográfica: “Es el área natural o unidad de territorio, delimitada por una divisoria topográfica (divortium aquarum), denominado río principal”.

Otras definiciones más integrales sobre cuencas hidrográficas, según Vásquez et al (2000), son:

- Cuenca hidrográfica es el sistema que interrelaciona factores naturales, sociales, económicos, políticos e institucionales y que son variables en el tiempo.

---

<sup>3</sup> Es el Programa Nacional de Riegos, perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente y Aguas, viceministerio de recursos hídricos y riego

- Cuenca hidrográfica es el área o ámbito geográfico, delimitado por el “divortium aquarum”<sup>4</sup>, donde ocurre el ciclo hidrológico e interactúan los factores naturales, sociales, económicos, políticos e institucionales y que son variables en el tiempo.

### 3.4.1 Elementos de una cuenca hidrográfica

Según Vásquez et. al. (2000), los elementos más importantes de una cuenca son:

- a. El agua:** Es el elemento fundamental de la cuenca, ya que potencia o disminuye la capacidad productiva de los suelos. La forma como ocurre y se traslada dentro de la cuenca puede producir grandes beneficios (riego, agua potable, pesca, electricidad, insumo industrial, navegación, etc.) o grandes desastres (erosión, inundaciones, etc.). si se usa adecuadamente, permite cubrir diversas necesidades de la población humana y animal.
- b. El suelo:** Si se relaciona adecuadamente con agua de buena calidad, favorece la vida humana, animal y vegetal.
- c. El clima:** Define el nivel de la temperatura, precipitación, nubosidad y otros fenómenos favorables o adversos para la actividad biológica.
- d. La vegetación:** Importante debido a la evapotranspiración que origina y a la acción de amortiguamiento y protección del impacto directo del agua sobre el suelo.
- e. La topografía:** La pendiente y topografía de la superficie del terreno permiten que el agua al escurrir, adquiera determinadas velocidades
- f. La fauna:** La población animal proporciona posibilidades a la vida humana y otorga condiciones para que la cuenca mantenga un equilibrio con respecto a los recursos naturales.
- g. Recursos naturales que sirven para la actividad no agropecuaria**
- h. El hombre:** Es el único que puede planificar el uso racional de los recursos naturales para su aprovechamiento y conservación.

---

<sup>4</sup> De la palabra griega, es la línea divisoria de aguas o simplemente es el límite entre dos cuencas hidrográficas.

### **3.5 Cuenca hidrológica**

Villón, (2002) citado por Calle (2013), define a una cuenca hidrológica como un área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido.

Con el fin de establecer grupos de cuencas, se estudia una serie de características físicas en cada cuenca, entre las que se tiene: superficie, topografía, altitudes características, geología, suelos y cobertura.

#### **3.5.1 Parámetros físicos de una cuenca**

Según Londoño (2001), es de interés analizar algunas características propias de las formas de la superficie terrestre, con el fin de relacionarlas con la susceptibilidad que puedan tener dichas cuencas a un mayor o menor peligro torrencial. El análisis de los rasgos de la superficie terrestre se puede realizar, de forma más sencilla y objetiva, si se recurre a la morfometría<sup>5</sup>, ciencia que aplicada a la geomorfología, permite la cuantificación de diferentes rasgos de la superficie terrestre, y la comparación, en forma exacta, de una parte de la superficie terrestre con otra.

##### **3.5.1.1 Área de la cuenca**

El área de una cuenca hidrográfica se define como el total de la superficie proyectada sobre un plano horizontal, que contribuye con el flujo superficial a un segmento de cauce de orden dado, incluyendo todos los tributarios de orden menor. El área de la cuenca tiene gran importancia, por constituir el criterio de la magnitud del caudal. En condiciones normales, los caudales promedios, mínimos y máximos instantáneos, crecen a medida que crece el área de la cuenca. (Londoño, 2001).

---

<sup>5</sup> Deriva de griego “morphé” que significa forma o figura y “metría” significa medición. Se refiere al análisis cuantitativo de la forma.

### **3.5.2 Parámetros de forma**

#### **3.5.2.1 Coeficiente de compacidad de Graveolius**

El coeficiente de compacidad se obtiene al relacionar el perímetro de la cuenca, con el perímetro de un círculo, que tiene la misma área de la cuenca.

### **3.5.3. Parámetros del sistema de drenaje**

#### **3.5.3.1 Orden de los cursos de agua**

Según Londoño (2001), este grado de organización, detectado por Horton y estudiado después por Strahler<sup>6</sup>, permite desarrollar un método de clasificación basado en la numeración y conteo de las corrientes de agua, de un determinado orden, existentes en una cuenca.

La clasificación de los órdenes es la siguiente:

- Corrientes de primer orden: pequeños canales que no tienen tributario.
- Corrientes de segundo orden: dos corrientes de primer orden se unen.
- Corrientes de tercer orden: dos corrientes de segundo orden se unen.
- Corrientes de orden **n+1** : dos corrientes de orden **n** se unen

Entre más alto es el orden de la cuenca, indica un drenaje más eficiente que desalojará rápidamente el agua.

#### **3.5.3.3 Densidad de drenaje**

Londoño (2001), menciona que la longitud total de los cauces de una cuenca hidrográfica dividida por el área total de drenaje, define la densidad de drenaje, expresada en km/km<sup>2</sup>.

El mismo autor nos dice que una densidad con drenaje alto, refleja que la cuenca está muy bien drenada, que debería responder, relativamente rápido al influjo de la

---

<sup>6</sup> Arthur Newell Strahler (1918-2002), fue un geógrafo y geólogo destacado en hidrología, geomorfología y climatología. En 1952 desarrolló el orden de corriente Strahler para clasificar corrientes de acuerdo con la potencia de sus afluentes.

precipitación; en cambio una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada, con una respuesta muy lenta.

Para Monsalve (1995) mencionado por Londoño (2001), la densidad de drenaje toma valores entre 0,5 km/km<sup>2</sup> para cuencas con drenaje pobre, hasta 3,5 km/km<sup>2</sup>, para cuencas excepcionalmente bien drenadas.

### **3.5.4. Parámetros de relieve**

#### **3.5.4.1. Elevación media**

La altitud y la elevación media de una cuenca son importantes, por la influencia que ejercen sobre la precipitación, en las pérdidas de agua por evaporación y transpiración, y consecuentemente sobre el caudal medio. (Londoño, 2001).

#### **3.5.4.3. Rectángulo equivalente**

Londoño (2001), menciona que este índice fue introducido por los hidrólogos franceses como un intento de comparar la influencia de las características de las cuencas sobre la escorrentía. Para facilitar la comparación geométrica de cuencas hidrográficas, estas se pueden reducir a figuras simples, cumpliendo determinadas condiciones de analogía. La característica más importante de este rectángulo es que tiene igual distribución de alturas, que la curva hipsométrica de la cuenca.

El rectángulo equivalente facilita la comparación geométrica de las cuencas y permite ver la influencia de sus características sobre la escorrentía. Dimensionado el rectángulo, se construye un rectángulo equivalente de área igual a la de la cuenca, tal que el lado menor sea  $a$ , y el lado mayor  $L$ . (Londoño, 2001).

Las curvas de nivel se representan por rectas paralelas al lado más pequeño del rectángulo, y las distancias entre las curvas de nivel se establecen de acuerdo con los porcentajes de área por encima de las diferentes curvas de nivel. (Londoño, 2001).

#### **3.5.4.5. Pendiente media**

Según Londoño (2001), en la medida en que los valores de estos parámetros crecen, existe una mayor posibilidad de generar crecidas, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas se incrementa en aquellas cuencas que presenten valores altos de pendientes, caso contrario ocurre cuando la pendiente media de la cuenca presentan valores bajos.

#### **3.5.4.6. Pendiente media del cauce**

La influencia de la pendiente media total de la corriente se nota en la velocidad de flujo, en la duración de subida o en la duración total de las avenidas, e influye en la forma del hidrograma. Su influencia se acopla a la de la longitud de la corriente. (Londoño, 2001).

#### **3.5.4.7. Tiempo de concentración**

Es el tiempo teórico que se demora una gota de agua desde la parte más alta de la cuenca hasta la desembocadura de la misma. (Londoño, 2001).

### **3.6 Balance hídrico de una cuenca**

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

Según Van Damme (2002), 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.

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)



### 3.7 Calidad de aguas

Serrano (2010), menciona que la mayor parte de las aguas varían en su calidad, debido a la influencia de sustancias extrañas procedentes de las formaciones geológicas o como efecto de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura.

Según Vásquez et al (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 dársele al suelo.

Para determinar la calidad de agua para riego se tienen las siguientes características:

- Concentración total de sales solubles
- Concentración relativa de sodio
- Concentración total de sólidos
- Dureza del agua
- Contenido de carbonatos
- Potencial de hidrogeniones

Para Palacios et al (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 penetra en el suelo
- La presencia de elementos que pueden ser tóxicos para las plantas.

Según Palacios et al (2010), los problemas de sales en el agua de riego están relacionados con los siguientes efectos:

**a. Salinidad.** A mayor contenido de sales en el agua del suelo, mayor es el esfuerzo que la planta tiene que hacer para absorber el agua.

**b. Infiltración del agua en el suelo.** Un alto contenido de sodio y bajo de calcio en el suelo significa que sus partículas tienden a dispersarse, ocasionando la

disminución de la velocidad de infiltración del agua al disminuir el volumen de macro poros.

**c. Toxicidad.** Algunas sales, cuando se acumulan en cantidad suficiente, resultan tóxicas para los cultivos u ocasionan desequilibrios en la absorción de los nutrientes.

### **3.7.1 Concentración total de sales solubles**

Se expresa en términos de conductividad eléctrica (CE), la cual es determinada en forma racional y precisa. De manera general el agua usada para riego tiene una conductividad eléctrica normalmente menor a 2 a 2,25 mmhos/cm. Una conductividad menor a 0,75 mmhos/cm, es satisfactoria. El agua de riego con una conductividad eléctrica mayor a de 2,25 mmhos/cm ocasiona una sustancial reducción en los rendimientos de muchos cultivos, salvo que se traten de cultivos tolerantes a las sales, se aplique abundante agua de riego y el drenaje subterráneo de los suelos sea adecuado. (Vásquez et al, 2000).

### **3.7.2. Conductividad eléctrica (CE)**

Según Vásquez et al (2000), se divide en cuatro clases:

- **Clase C1:** agua de baja salinidad, que puede utilizarse para el riego de la mayoría de los cultivos y en cualquier tipo de suelo, con poca probabilidad que se desarrolle salinidad.
- **Clase C2:** agua de salinidad media, que puede utilizarse siempre y cuando haya cierto grado de lavado. Las plantas moderadamente tolerantes a las sales pueden producir adecuadamente en casi todos los casos y sin necesidad de prácticas de control de salinidad.
- **Clase C3:** agua altamente salina, que puede utilizarse en el riego de cultivo tolerantes a las sales y en suelos con adecuado drenaje y en muchos casos se complementa con el empleo de prácticas de control de salinidad.
- **Clase C4:** agua altamente salina, que puede utilizarse para el riego bajo condiciones especiales: suelos permeables y de drenaje adecuado, aplicándose agua en exceso para mantener un equilibrio de sales en el perfil

del suelo, bajo condiciones normales, no es apropiada para el riego. Los cultivos a usarse con este tipo de agua son altamente tolerantes a las sales.

Según Serrano (2010), la reducción del crecimiento de los cultivos debido a la salinidad es por el potencial osmótico, ya que hay una reducción de la capacidad de las raíces de las plantas para extraer agua del suelo.

Los iones solubles de interés para el riego son: calcio, sodio, magnesio, potasio, cloruro, sulfato, bicarbonatos y carbonatos.

### **3.7.3. Contenido de Calcio**

Según Palacios et al (2010), el calcio existe esencialmente en todas las aguas naturales y un suelo que posee un suministro adecuado de calcio intercambiable es friable y en él se puede cultivar fácilmente, a menudo permite que el agua penetre con rapidez. Por eso se lo aplica en forma de yeso a los suelos compactos para mejorar sus propiedades físicas. El calcio sustituye al sodio en los coloides del suelo y permite que el sodio sea lixiviado por debajo de la zona radical.

### **3.7.4 Contenido de Magnesio**

El magnesio se comporta de manera muy similar a como lo hace el calcio en el suelo. (Palacios et al, 2010).

### **3.7.5 Contenido de Potasio**

El potasio (**K+**) existe en pequeñas cantidades en las aguas naturales. Se comporta de manera muy similar a como lo hace el sodio en el suelo. (Palacios et al, 2010).

### **3.7.6 Contenido de Aniones**

Los aniones afectan de manera indirecta las propiedades físicas de los suelos porque alteran la proporción de iones calcio y sodio que se adhieren a las arcillas, estos son bicarbonatos, carbonatos, cloruros y sulfatos. (Palacios et al, 2010).

Los bicarbonatos (**HCO<sup>-</sup>**) abundan en las aguas naturales, no existen en la naturaleza, excepto en solución. (Palacios et al, 2010).

El cloro existe en forma de cloruros (**Cl<sup>-</sup>**) en toda agua natural, si alcanza altas concentraciones es tóxico para algunas plantas, son solubles y aumentan el contenido total de sales (salinidad) de los suelos. (Palacios et al, 2010).

### **3.7.7 Concentración relativa de Sodio**

El sodio tiene un efecto dispersante al ser intercambiado por los coloides del suelo, debido a su alta capacidad de hidratación. La estructura de un suelo que ha sufrido dispersión por efecto del **Na** se ve alterada con diferentes grados de intensidad, sellándose ya sea total o parcialmente la superficie del suelo a la infiltración del agua de riego y a un adecuado intercambio gaseoso entre la atmosfera y el perfil del suelo, creándose por lo tanto inapropiadas condiciones para un adecuado desarrollo de los cultivos y afectando consecuentemente sus rendimientos. (Vásquez et al, 2000).

### **3.7.8 RAS**

Según Vásquez et al (2000), se divide en las siguientes clases:

- **Clase S1:** agua baja en sodio, que puede utilizarse para el riego de la mayoría de los cultivos y en la mayoría de los suelos, con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.
- **Clase S2:** agua media en sodio, que puede utilizarse en suelo de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad. Los suelos con textura fina el sodio representa un peligro considerables, más aún, si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, salvo que el suelo contenga yeso.
- **Clase S3:** agua alta en sodio, que normalmente puede producirse niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos, por lo que estos requerirán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los con abundante cantidad de yeso, pueden en muchos casos, no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando son regados con esta clase de agua. En otros casos, para sustituir al

sodio intercambiable se utiliza mejoradores químicos que muchas veces no resultan económicos si se usa agua de alto contenido de sales.

- **Clase S4:** agua muy alta en sodio, inadecuada para el riego, salvo que su CE sea baja o media y cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso u otros mejoradores químicos no conviertan su utilización en antieconómica.

Cuando se usan aguas de las clases C1 – S3 o C1 – S4 se debe tener en cuenta, que el agua de riego puede disolver grandes cantidades de calcio presente en suelos calcáreos, disminuyendo de esta manera notablemente el peligro de sodio.

El estado de sodio de las aguas C1 – S3, C1 – S4 y C2 – S4 se puede modificar ventajosamente adicionando yeso al agua. Asimismo, se recomienda aplicar periódicamente yeso al suelo cuando se utilizan aguas de clase C2 – S3 y C3 – S2.

Palacios et al (2010), menciona que las sales de sodio ( $\text{Na}^+$ ) son muy solubles y por eso existen casi en todas las aguas naturales. Los suelos que poseen una gran cantidad de sodio asociado a la fracción de arcilla tienen propiedades físicas indeseables para el crecimiento de las plantas, al estar húmedos se separan, son pegajosos y casi impermeables al agua, al secarse forman terrones duros y difíciles de labrar.

## 4. LOCALIZACIÓN

### 4.1 Ubicación geográfica

El presente estudio se realizó en la Cuenca Keraya, Municipio de Cairoma, Quinta Sección Municipal de la Provincia Loayza del Departamento de La Paz, se encuentra a una distancia de 266 Km de la ciudad de La Paz. Geográficamente se encuentra a  $67^{\circ} 42'$  y  $67^{\circ} 26'$  de longitud Oeste y entre los  $16^{\circ} 38'$  y  $17^{\circ} 20'$  de latitud Sur y a una altitud de 3500 m.s.n.m (PDM, 2010).

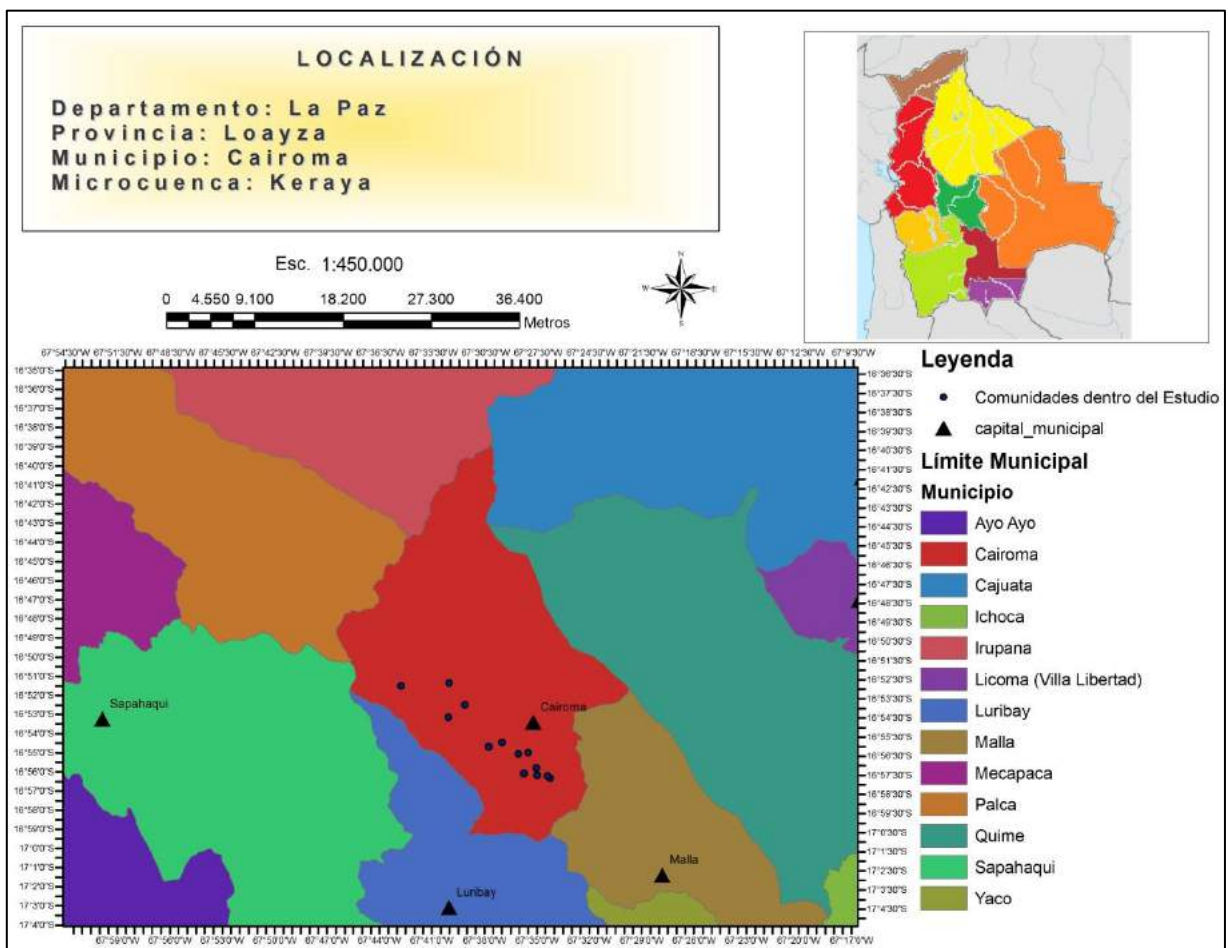


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio (INE, 2011).

La Cuenca Keraya presenta características fisiográficas y topográficas de un valle, con una zona de cabecera de valle o parte alta, una zona intermedia o parte media, y el valle bajo o parte baja, la temperatura baria de  $6^{\circ}\text{C}$  promedio en la parte alta y  $13^{\circ}\text{C}$  en la parte baja.

°C promedio de la parte baja. También en igual manera ocurre con la precipitación pluvial en donde existe una variación de 370 a 450 mm en la cabecera de valle y 400 mm, en el valle bajo (CEPROMU, 1996).

Las Comunidades en el estudio fueron 8, las cuales se describen a continuación con sus respectivas coordenadas geográficas, como se observa en el cuadro siguiente:

**Cuadro 1. Coordenadas geográficas de comunidades en estudio**

Nro.	Comunidad	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)
1	Keraya	S 16° 55' 43.4''	W 67° 34' 36.4''	3431 m.s.n.m.
2	Sanumarca	S 16° 56' 37.3''	W 67° 33' 00.6''	3696 m.s.n.m.
3	Machacamarca Alta	S 16° 56' 48.3''	W 67° 33' 01.2''	3705 m.s.n.m.
4	Corocuta	S 16° 56' 58.6''	W 67° 33' 20.8''	3852 m.s.n.m.
5	Pucarani	S 16° 55' 52.8''	W 67° 33' 41.4''	3654 m.s.n.m.
6	Yunga Yunga	S 16° 55' 22.2''	W 67° 34' 29.7''	3530 m.s.n.m.
7	Amaru	S 16° 54' 14.5''	W 67° 16' 16.6''	3520 m.s.n.m.
8	Cosiraya	S 16° 55' 24.6''	W 67° 11' 28.0''	2000 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia

Los límites territoriales del municipio de Cairoma se encuentran en la siguiente disposición:

- Al Norte con el municipio de Palca, Irupana.
- Al Sud con el municipio de Malla.
- Al Este con el municipio de Quime.
- Al Oeste con el municipio de Luribay, Sapahaqui.

#### 4.2 Características físicas

Según Agreda (2001) y Montes de Oca (1992, 1997, 2005), los valles se sitúan en medio de la cordillera oriental y central de Bolivia, de acuerdo a su vocación agrícola se los divide en cuatro sectores de Norte a Sur: Valles Cerrados, del Norte, Centrales y del Sud. Gran parte de los sistemas de riego en los países están situados en estos ecosistemas.

La Cuenca de Keraya se sitúa dentro de la Región de Araca, perteneciente a zona agroecológica de los Valles Cerrados del departamento de La Paz, que pertenecen a

la región de los Valles. Según el PRONAR (2005), esta zona presenta 7 meses secos al año, teniendo una precipitación de 666 mm y una evapotranspiración de 999 mm, generando un déficit hídrico de 333 mm por año.

#### **4.2.1. Clima**

El clima de valle seco interandino es variado, con predominancia de clima subhúmedo (templado), siendo esta una región semiárida. La temperatura promedio anual fluctúa entre 12 a 14°C; mientras que la máxima y mínima media varían entre 19 a 21°C y 5 a 6°C respectivamente (SENAMHI, 2011 y Roldan y Chipana, 2011).

La época seca se prolonga de 6 a 8 meses (siendo junio y julio los meses más secos y fríos), mientras que las lluvias caen en periodos cortos entre diciembre y febrero con fuerte intensidad. En los valles situados en la región cordillerana las temperaturas son mucho más bajas que de los yungas, la humedad es considerablemente más baja y tienen rangos de precipitación de 500 – 600 mm por año (Zelada, 1997).

#### **4.2.2. Suelo**

Montes de Oca (1992, 1997, 2005), menciona que la fertilidad de los suelos de esta región, son conservados por los agricultores con el uso de estiércol de vacuno, ovino y gallináceas; fertilizantes químicos y rotando cultivos; ya que en los Valles los terrenos bajo riego se explotan en forma intensiva y la producción se destina al mercado.

#### **4.2.3. Fisiografía**

Montes de Oca (1997, 2005), indican que se trata de un valle estrecho, rodeado de colinas y montañas, presenta laderas de pendiente variable con terrazas de formación natural, con escasa cobertura vegetal. El relieve topográfico del sector se caracteriza por presentar pendientes fuertes en la parte superior de la sub-cuenca (entre 50 y 100%) y pendientes bajas en el trecho de dirección del curso de agua que la conforma (entre 2,5 y 8 %) siendo estas, terrazas bajas aledañas al río La Paz. Las



pendientes llegan incluso hasta 150%, por su fisiografía característica de ladera de colina.

#### **4.2.4 Tenencia de tierra y actividad agropecuaria**

Montes de Oca (1992, 1997, 2005), señala que la tenencia de tierra en esta zona, refleja por una parte una elevada concentración de tierras cultivables en escasas unidades productivas mayores de 5 ha y por otra parte un elevado índice de parcelación con propiedad individual menores de 5 ha, más del 65% de los productores disponen del 25% de la tierra, en propiedades de menos de 3 ha. Asimismo, el 16% de los productores que poseen predios mayores a 5 ha detentan más del 50% de la tierra censada.

La principal actividad económica es la agricultura, favorecida por las aguas que bajan del deshielo de la cordillera y riego de apoyo, que permitan una producción intensiva. En los sistemas los campesinos tienen parcelas bajo riego donde se tiene la producción de diversas hortalizas, alfalfa (*Medicago sativa*), maíz choclero (*Zea mays*) y frutales; y en tierras a temporal (sin riego) producen maíz (*Zea mays*) y papa (*Solanum tuberosum*). La producción para la subsistencia está siendo rápidamente situada por la producción para el mercado, y la tierra destinada a aquella es cada vez más reducida en beneficio de los cultivos comerciales. La producción pecuaria no es la más importante de la zona, pero son propietarios individuales de ganadería ovina y vacuna que la comercializan de acuerdo a sus necesidades, además de algunos equinos útiles para el transporte de cargas y productos.

## **5. MATERIALES Y METODOS**

### **5.1. Materiales**

#### **5.1.1. Material de campo**

- Cartas geográficas del lugar Esc. 1:50000 (IGM).
- Imágenes satelitales Google Earth.
- GPS (Sistema de posicionamiento global).
- Flexometro (5 m) y Wincha Métrica (50 m).
- Regla metálica (0,30 m) y regla de madera (0,70 m).
- Cámara fotográfica, cronometro y calculadora.
- Cuaderno de campo para la recolección de información primaria.
- Tablero y Planillas de registro para la evaluación de fuentes de agua y sistemas de riego

#### **5.1.2. Material de laboratorio**

- Se realizó el análisis de agua en los laboratorios del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN).

#### **5.1.3. Material de gabinete**

- Material de escritorio
- Computadora portátil Sony
- Software Arc Gis 10 – Arc Map 10.3
- Software ABRO 02 ver. 3.1
- Software Microsoft Excel 2010

## 5.2. Metodología

La metodología seguida se divide en cuatro partes importantes: La fase de Pre campo, la fase de trabajo en campo, la fase de trabajo en laboratorio y la fase de trabajo en gabinete, las cuales se describen a continuación.

### 5.2.1 Fase pre campo

Comprende desde la recopilación de información secundaria, referente a datos climáticos como precipitaciones, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar, de registros históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), mapas y fotografías aéreas (I.G.M.), información de recursos hídricos.

### 5.2.2. Fase de trabajo en Campo

#### 5.2.2.1 Observación del área de estudio

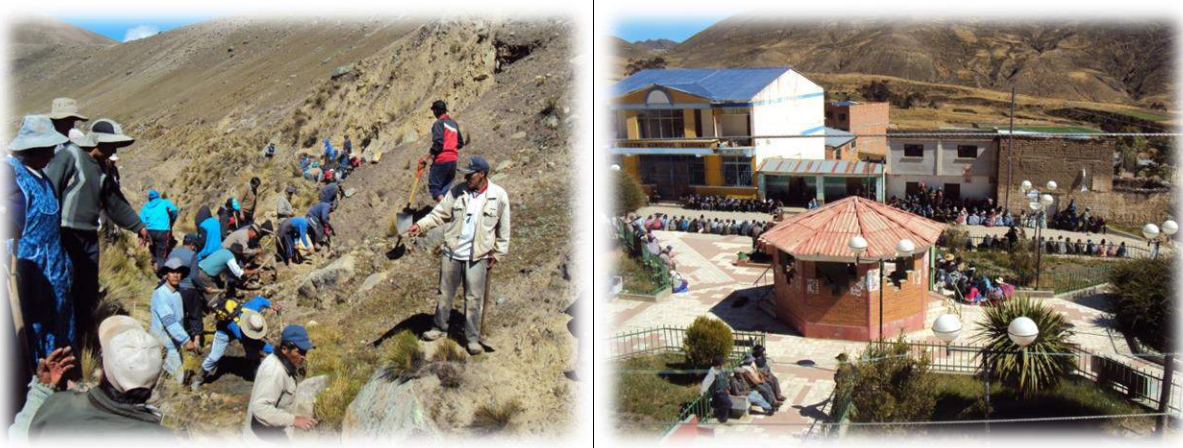
El reconocimiento del área de estudio, primera etapa de trabajo consistió en realizar visitas de reconocimiento al lugar, para observar la ubicación y las características que presentaban las fuentes de agua. (Figura 2 a y b).



**Figura 2. Reconocimiento del área de estudio**

a) Reconocimiento de la Cuenca Keraya y b) Reconocimiento del Rio Keraya

Además se asistió a las reuniones en las comunidades, para explicar el objetivo de la investigación y obtener una mejor relación con los usuarios del recurso hídrico, facilitando la obtención de información acerca de las inquietudes y motivaciones existentes (Figura 3).



**Figura 3. Reuniones en el trabajo sectorial (limpieza de canal) para explicar la investigación.**

a) Limpieza de canal de los beneficiarios de la Cuenca Keraya en el tramo Choquecota y la Cuenca Keraya. y b) Reunión de la asociación de regantes de las zonas altas en la plaza principal de la Capital de Cairoma.

#### **5.2.2.2 Identificación e inventariación de las fuentes de agua para uso de riego**

En primera instancia se identificó las diferentes fuentes de aguas superficiales existentes en el área de estudio, esto con ayuda de un GPS y con la recopilación de información mediante las planillas de evaluación. Con ayuda de estas planillas de evaluación se inventario los diferentes fuentes de aguas en las diferentes áreas de estudio.

#### **5.2.2.3 Identificación e inventariación de los sistemas de riego**

Con la ayuda de los usuarios, se realizó la visita a lugares donde se encuentran las obras civiles y se realizó la identificación de los diferentes sistemas de riego para poder inventariar en el presente documento. Además de algunos problemas en la conducción y aducción de los recursos hídricos por los canales de riego, originados por deslizamientos y sedimentación de material de arrastre.

### 5.2.2.3. Aforo de caudales

Con el fin de determinar el caudal de los canales principales del sistema de riego, se optó aforar por el método indicado por Vásquez *et al* (2000) en base a la velocidad del agua y el área de la sección del canal, como se aprecia en la siguiente fórmula, debido a los elevados caudales.

$$Q = V * A \quad (1)$$

Dónde:

Q: Caudal (l/s)

V: Velocidad media (m/s)

A: Área de la sección transversal del cauce

Fuente: Vásquez *et al* (2000)

La selección del método dependió del volumen a medir y de las condiciones bajo las cuales deben efectuarse las medidas y de la exactitud requerida.

El método utilizado para el aforo de caudales en el área de estudio, fue el del flotador. Las mediciones correspondientes se la hicieron durante la época de estiaje y la época de lluvias.

Se midió la velocidad de la superficie del agua del río en el centro de este, usando un objeto flotante, posteriormente se midió la sección transversal del cauce, pudiendo hallar el caudal mediante la fórmula.

### 5.2.2.4. Toma de muestras de agua

Se hizo una inspección técnica de las fuentes de aguas superficiales existentes en el área de estudio, esto geo referenciándolos y mediante la observación de las actividades diarias de los productores agropecuarios, de los suelos y del clima, para poder detectar sobre algún posible agente contaminante y también ubicar el lugar más representativo de muestreo.

Se hizo el muestreo de aguas en la parte media representativo del área de estudio, siguiendo el proceso que se describe a continuación:

La muestra se tomó a una profundidad intermedia entre la superficie del agua y el fondo.

Se sacó tres muestras al azar de agua, y se eligió una muestra simple. La muestra de agua se la tomo en envases plásticos de 2000 cm<sup>3</sup>.

Antes de ello se hizo el escobado del recipiente de agua.

Se etiqueto la muestra con marcador permanente, perfectamente identificada con el origen, localización (coordenadas geográficas), y fecha.

Finalmente se lo guardo en un lugar frio, protegido de los rayos del sol, evitando la alteración de la muestra, tratando de mantenerlo a una temperatura promedio de 5°C, según las normas de muestreo de aguas

### **5.2.3. Fase de trabajo en laboratorio**

#### **5.2.3.1. Análisis de aguas**

El análisis físico – químico de las muestras de aguas para riego recolectadas en las obras de captación (bocatomas) de los – sistemas de riego, se realizó la toma de muestras de agua, para poder trasladarlo posteriormente a laboratorio.

Se hizo el análisis de los siguientes parámetros para determinar la calidad del agua: ph, Magnesio (mg/l), conductividad eléctrica (μS/cm), dureza total (mg CaCO<sub>3</sub>/l), Sodio (mg/l), sólidos disueltos (mg/l), alcalinidad total (mg CaCO<sub>3</sub>/l), Calcio (mg/l).

Para determinar la cantidad de sodio en la muestra de agua se utilizó un indicador de la concentración relativa que es la relación de absorción de sodio (RAS), la cual es expresada y calculada por:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{(Ca-Mg)/2}} \quad (2)$$

Dónde:

Na: Sodio (meq/litro)

Ca: Calcio (meq/litro)

Mg: Magnesio (meq/litro)

Fuente: FAO Citado por Serrano (2010)

La concentración de sodio se calcula, si se conoce la CE (micromhos/cm):

$$Na = (CE * 104) - (Ca * Mg) \quad (3)$$

Fuente: FAO Citado por Serrano (2010)

- a) **Análisis de calidad de aguas en laboratorio:** Se tomaron los siguientes parámetros:

<b>Parámetros</b>	<b>Método</b>
<b>pH</b>	Potenciometría
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Conductancia
<b>Sodio</b>	Flamometría
<b>Potasio</b>	Flamometría
<b>Calcio</b>	Absorción Atómica
<b>Magnesio</b>	Absorción Atómica
<b>Cloruros</b>	Argentométrico
<b>Carbonatos</b>	Volumetría
<b>Bicarbonatos</b>	Volumetría
<b>Sulfatos</b>	Espectrofotometría UV-Visible
<b>Solidos suspendidos</b>	Gravimétrico
<b>Solidos totales</b>	Gravimétrico
<b>Solidos disueltos</b>	Gravimétrico
<b>Boro</b>	Espectrofotometría UV-Visible
<b>RAS</b>	Formulas indirectas

Fuente: Elaboración propia

**b) Análisis de la calidad de aguas para la Cuenca Keraya:** Para este fin se tomaron muestras en dos áreas importantes para el uso y consumo de agua dentro el Municipio de Cairoma, una muestra fue en los afluentes de Río Keraya, que es la red principal de la cuenca del mismo nombre y la otra muestra se la hizo en la Represa de Choquecota, ubicada en la cumbre del municipio, de donde se utiliza este reservorio para el consumo humano de agua como también para los diferentes sistemas de riego de las comunidades a menor altitud, incluyendo a las comunidades dentro la Cuenca Keraya.

**c) Análisis estadístico de la calidad de aguas del Río Keraya y la Represa Choquecota:** Con las muestras realizadas y luego del análisis de laboratorio para la calidad de aguas se hizo un análisis estadístico para conocer la diferencia puntual del agua del Río Keraya con la utilizada por el municipio, que es la represa Choquecota

**c.1. Análisis de correlación.** Se realizó este análisis con el fin de conocer la correlación que tiene los parámetros de calidad de aguas, ya mencionados anteriormente, con lo que se pudo definir los indicadores de riego agrícola juntamente con los problemas que tiene o puede tener la Cuenca Keraya.

**c.2. Regresión lineal.** Se hizo la regresión lineal, con su respectivo análisis de varianza, de los datos obtenidos en laboratorio para los parámetros de calidad de aguas, hacia conocer la tendencia que tienen los afluentes dentro y fuera de la Cuenca Keraya, y si esta es similar a los lugares de donde usualmente se utiliza agua de consumo y para riego agrícola en el Municipio de Cairoma. Para esto se utilizó muestras hechas en la represa de Choquecota.

La fórmula utilizada para tal hecho fue:

$$y = a + b * x \quad (4)$$

Dónde:

y = Tendencia de los parámetros del Río Keraya

a = Constante del modelo

b = Constante de la Represa Choquecota

x = Valores de los parámetros de la Represa Choquecota



## 5.2.4. Fase de trabajo en gabinete

### 5.2.4.1. Delimitación de la cuenca hidrográfica

Utilizando el modelo digital de elevación (DEM), mediante el software Arc GIS, se hizo un corte del área de estudio, logrando esto gracias a los puntos de control tomados con el GPS.

Con la metodología Phastheter, se pudo ubicar los diferentes afluentes que pasan por el área de estudio, así se pudo delimitar la cuenca, sub cuencas y sus curvas de nivel, pudiéndose hallar el área y perímetro de esta, además de la longitud de los afluentes.

La delimitación de la cuenca se la hace siguiendo la cota de mayor altura o parte aguas, encerrando el área de estudio cuyas aguas drenan a un colector común, el río principal.

### 5.2.4.2. Características físicas y topográficas de la cuenca

Teniendo ya el área de la cuenca y las longitudes de los afluentes principales (ríos permanentes, intermitentes y efímeros), se procedió a calcular las principales características físicas y topográficas de la cuenca hidrográfica:

#### a. Coeficiente de compacidad:

$$Kc = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{(A)}} \quad (5)$$

Dónde:

Kc: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Fuente: Londoño (2001)

**b. Orden de los cursos de agua:**

Un cauce de primer orden es aquel que no tiene ningún tributario, un cauce de segundo orden es uno que posee únicamente ramificaciones de primer orden, un cauce de tercer orden es el que posee solamente ramificaciones de primer y segundo orden, originado por la unión de dos cauces de orden dos y así sucesivamente el número de orden va en ascenso.

**c. Elevación media de la cuenca:**

$$Elev. media = \frac{Cota\ mayor(m) + Cota\ menor(m)}{2} \quad (6)$$

Fuente: Londoño (2001)

**d. Rectángulo equivalente:**

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2} \right] \quad (7)$$

$$a = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2} \right] \quad (8)$$

Dónde:

L: Largo del rectángulo (km)

a: Ancho del rectángulo (km)

Kc: Coeficiente de compacidad

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Fuente: Londoño (2001)

**e. Pendiente media de la cuenca:** Se la calcula por el método de Alvord:

$$Sc = \left( \frac{\sum li * eq}{A} \right) * 100 \quad (9)$$

Dónde:

Sc: Pendiente media de la cuenca (%)

$\Sigma li$ : Sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel (Km)

eq: equidistancia entre curvas (Km)

A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Fuente: Londoño (2001)

**f. Pendiente media del cauce:**

$$Pm = \frac{\sum DV}{DH} * 100 \quad (10)$$

$$Pm = \frac{\sum \Delta hi}{\Delta li} * 100 \quad (11)$$

Dónde:

Pm: Pendiente media del cauce (%)

DV: Distancia vertical (m)

DH: Distancia horizontal (m)

$\Delta hi$ : Desnivel (m)

$\Delta li$ : Desnivel horizontal (m)

Fuente: Londoño (2001)

**g. Densidad de corrientes:**

$$Dc = \frac{Nc}{A} \quad (12)$$

Dónde:

Dc: Densidad de corrientes

Nc: Numero de cauces

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Fuente: Londoño (2001)

#### **h. Tiempo de concentración:**

$$T_c = \left( \frac{0,870 * L^2}{H} \right)^{0,385} \quad (13)$$

Dónde:

- Tc: Tiempo de concentración (hr)
- L: Longitud del cauce principal (km)
- H: Diferencia de altura (m)

Fuente: Londoño (2001)

#### **5.2.4.3. Balance hídrico de la cuenca hidrográfica**

Estos parámetros fueron calculados mediante su fórmula respectiva, en algunos casos se lo obtuvo directamente mediante el software Arc GIS. Se usó el programa ABRO 02 ver 3.1 y se siguió el siguiente procedimiento:

- a) En la ventana “ETo” se introdujeron los datos de: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, horas sol y velocidad del viento; además se indicó la latitud y longitud del área de estudio, con estos datos se calculó la evapotranspiración según el método Penman Monteith.
- b) En la ventana “Situación sin proyecto” se introdujeron los datos de precipitación, se indicó los cultivos y las fuentes de agua existentes en el área de estudio.
- c) Seguidamente se pidió el reporte correspondiente.

#### **5.2.4.4. Oferta de agua y caudales**

Se utilizó el programa ABRO 02 ver 3.1 mediante los datos de precipitación total.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1. Inventario de las fuentes de agua

Se identificó e inventarió las siguientes fuentes de agua superficiales:

**Tabla 1. Identificación e Inventariación de las fuentes de agua**

COMUNIDAD CON N° DE FUENTES DE AGUA	TIPO DE FUENTE U ORIGEN	NOMBRE DE LA FUENTE DE AGUA	DESCRIPCION	USO
Keraya	Rio	Keraya	fuentes de agua la represa choquecota y vertientes	Uso Agrícola Pecuario y consumo humano
	Vertiente	Rirujto Jawira-Keraya Alta		
	Vertiente	Murmuntani Jok'o-Keraya Alta		
	Vertiente	Jacha Jok'o		Uso Pecuario
	Vertiente	Quimsa Jok'o		
	Vertiente	Kucho Uyo - Waca anata		
	Vertiente	Mullun Jok'o y Wilapampa -Jiska Waca anata		
Yunga Yunga	represa	choquecota	fuentes de agua la represa choquecota y vertientes	Uso Agrícola Pecuario y consumo humano
	Vertiente	Yunga Yunga K'hucho		
	Vertiente	Challoma		
	Vertiente	alfani		
	vertiente	chujuni		
	Vertiente	jamphi tucuya		
Machacamarca Alta	represa	choquecota	fuentes de agua la represa choquecota y vertientes	Uso Agrícola Pecuario y consumo humano
	Veriente	Machacamarca Alta		
Sanumarca	represa	choquecota	fuentes de agua la represa choquecota y vertientes	Uso Agrícola Pecuario
	Vertiente	Viscachani		
	Vertiente	Lloko Lloko		
Pucarani	represa	choquecota	fuentes de agua la represa choquecota y vertientes	Uso Agrícola Pecuario
	Vertiente	Inca Larka		
	Vertiente	Inca Thaki		
Corocuta	Vertiente	corocuta 1	fuentes de agua vertientes de la comunidad	Uso Agrícola Pecuario y consumo humano
	Vertiente	corocuta 2		
Amaru	vertiente	kani kani	fuentes de agua vertientes de la comunidad	Uso Agrícola Pecuario y consumo humano
	Vertiente	Ariendo		
	Vertiente	Wichu Pampa		
Cosiraya	rio	Keraya	fuentes de agua es el rio keraya (intermitente)	Uso Agrícola Pecuario y consumo humano

Fuente: Elaboración Propia, 2015

En las ocho comunidades en estudio se identificó las diferentes fuentes de agua existentes o usadas en cada comunidad, encontrando vertientes, la represa Choquecota y al Río Keraya como principales fuentes de riego.

Todas las comunidades cuentan con diversas vertientes, a excepción de la comunidad de Cosiraya que solo cuenta como fuente de agua principal al Río Keraya.

La comunidad que cuenta con el Río Keraya y vertientes como primordiales fuentes de agua en toda la cuenca son: Las comunidades de Keraya, Corocuta, Amaru y Cosiraya

Las comunidades de Yunga Yunga, Machacamarca Alta, Sanumarca, y Pucarani cuentan como fuente de agua a la represa Choquecota, puesto que son parte del sistema de riego que alimenta este reservorio. Cabe destacar que también estas comunidades cuentan con vertientes dentro sus zonas.

El uso que se les da en cada comunidad de la Cuenca Keraya es principalmente para la agricultura, ganadería y para consumo humano, usos que se le da al recurso agua en la zona, es para el riego de cultivos, principal actividad económica del sector, y en menor grado para el consumo pecuario.

Las vertientes cercanas a cada comunidad en la cuenca son principalmente captadas en tanques de agua de hormigón ciclópeo la cual está distribuida de manera directa sin contar con tratamientos de depuración en su calidad en el consumo humano y el rebalse es usado en la agricultura y la ganadería. Esto representa un peligro para la salud de los pobladores, ya que muchas veces estas fuentes se ven contaminadas por factores de diversa índole (residuos humanos y animales) que afectan la calidad del agua.

## 6.2. Inventario de los sistemas de riego

**Tabla 2. Identificación e Inventariación de los sistemas de riego**

COMUNIDAD CON N° DE SISTEMA DE RIEGO	INSTITUCION INVOLUCRADA	TIPO DE CONSTRUCCIÓN	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	DESCRIPCION	USO
Keraya	GAMC	Tanque de Almacenamiento de H°C°	180 m3	fuente de agua la represa choquecota turno vienes noche y vertientes, en la actualidad no cuenta con riego por aspersion	Uso Agrícola Pecuario
	COMUNAL	Mampostería de piedra	110 m3		Almacenamiento
	ACRA	Tanque de Almacenamiento de H°C°	180 m3		Uso Agrícola Pecuario
Yunga Yunga	GAMC	Tanque de Almacenamiento de H°C°	146 m3	fuente de agua represa choquecota, con turno de agua de 5 dias/semana por medio de lunes a vienes y vertientes, cuenta con sistema de riego por aspersion	Uso Agrícola Pecuario
	COMUNAL	Tanque de Almacenamiento de H°C°	95 m3		Uso Agrícola Pecuario
	SAVE CHILDREN	Tanque de Almacenamiento de H°A° mas red de tuberías matrices secundarias y parcelarias	400 m3		Uso Agrícola con Sistema de riego por aspersion
Machacamarca Alta	ACRA	Tanque de Almacenamiento de H°C°	180 m3	fuente de agua la represa choquecota por un dia/semana (Sabados) y vertientes, en la actualidad no cuenta con riego por aspersion	Uso Agrícola Pecuario
	GAMC	Tanque de Almacenamiento de H°C°	85 m3		Uso Agrícola Pecuario
Sanumarca	GAMC	Tanque de Almacenamiento de H°C°	180 m3	fuente de agua la represa choquecota por un dia/semana (Domingos) y vertientes, en la actualidad cuenta con riego por aspersion	Uso Agrícola Pecuario
	ACRA	Tanque de Almacenamiento de H°C°	180 m3		Uso Agrícola Pecuario
	FPS	Tanque de Almacenamiento de H°A° mas red de tuberías matrices secundarias y parcelarias	400 m3		Uso Agrícola con Sistema de riego por aspersion
Pucarani	ACRA	Tanque de Almacenamiento de H°C°	180 m3	fuente de agua la represa choquecota, turno de 5 dias/semana y medio y vertientes en la actualidad no cuenta con riego por aspersion	Uso Agrícola Pecuario
	GAMC	Tanque de Almacenamiento de H°C°	288 m3		Uso Agrícola Pecuario
Corocuta	ACRA	Tanque de Almacenamiento de H°C°	180 m3	Fuente de agua vertientes de la comunidad	Uso Agrícola Pecuario y consumo Humano
Amaru	ninguna	Zanja Comun	.....	Fuente de agua vertientes de la comunidad	Uso Agrícola Pecuario y consumo Humano
Cosiraya	ninguna	Zanja Comun	.....	Fuente de agua Rio Keraya (Intermitente)	Uso Agrícola Pecuario y consumo Humano

Fuente: Elaboración Propia, 2015

Como se observa en la tabla 2, los sistemas de riego presentes en la Cuenca Keraya como principal el sistema de riego Choquecota que beneficia a 5 comunidades como ser: Yunga Yunga, Pucarani, Keraya, Machacamarca Alta y Sanumarca, puesto que son parte del sistema de riego que alimenta este reservorio y son distribuidos de acuerdo a los usos y costumbres de la sub central de la Cuenca Keraya durante el mes de Mayo hasta el mes de Enero respectivamente.

De las comunidades en estudio 6 son los que cuentan con sistemas de riego tecnificado desde la construcción de tanques de almacenamiento de H°C° (hormigón ciclópeo), H°A° (hormigón armado) y redes de distribución con tuberías de PVC hasta las cámaras hidrantes. Los cuales fueron construidos por organizaciones gubernamentales y no gubernamentales con contraparte de las comunidades.

Dentro de los usos y costumbres de la sub central de la Cuenca Keraya el sistema de riego de Choquecota es distribuido de la siguiente forma: La comunidad de Yunga Yunga se beneficia con 5 días/semana/medio de lunes a viernes, Pucarani con 5 días/semana/medio de lunes a viernes, Keraya con 12 hr. solo viernes, Machacamarca Alta con 1 día sábado por semana, Sanumarca con 1 día Domingo por semana

Las comunidades de Amaru y Cosiraya solo cuentan con canales rústicos para riego y no son parte del sistema de riego de Choquecota por las características topográficas y la distancia. Sin embargo la producción agrícola y ganadera es alimentada con fuentes de agua de vertientes y el Rio Keraya.

Las comunidades de Corocuta y Keraya cuentan con tanques de almacenamiento en donde es alimentado por vertientes y pueden cubrir la demanda con riego por aspersión al igual que las demás comunidades.

Sin embargo el uso que se les da es principalmente en la agricultura y en menor grado en la ganadería, por medio de riego tecnificado por aspersión que benefician a las comunidades con el ahorro del agua en época de estiaje y poder cubrir la demanda en los cultivos de la zona.



### 6.3. Determinación de los parámetros físicos de la cuenca

Se determinó los parámetros físicos de la Cuenca Keraya, a continuación se describe cada una:

#### 6.3.1. Determinación de los parámetros físicos de relieve de la Cuenca Keraya

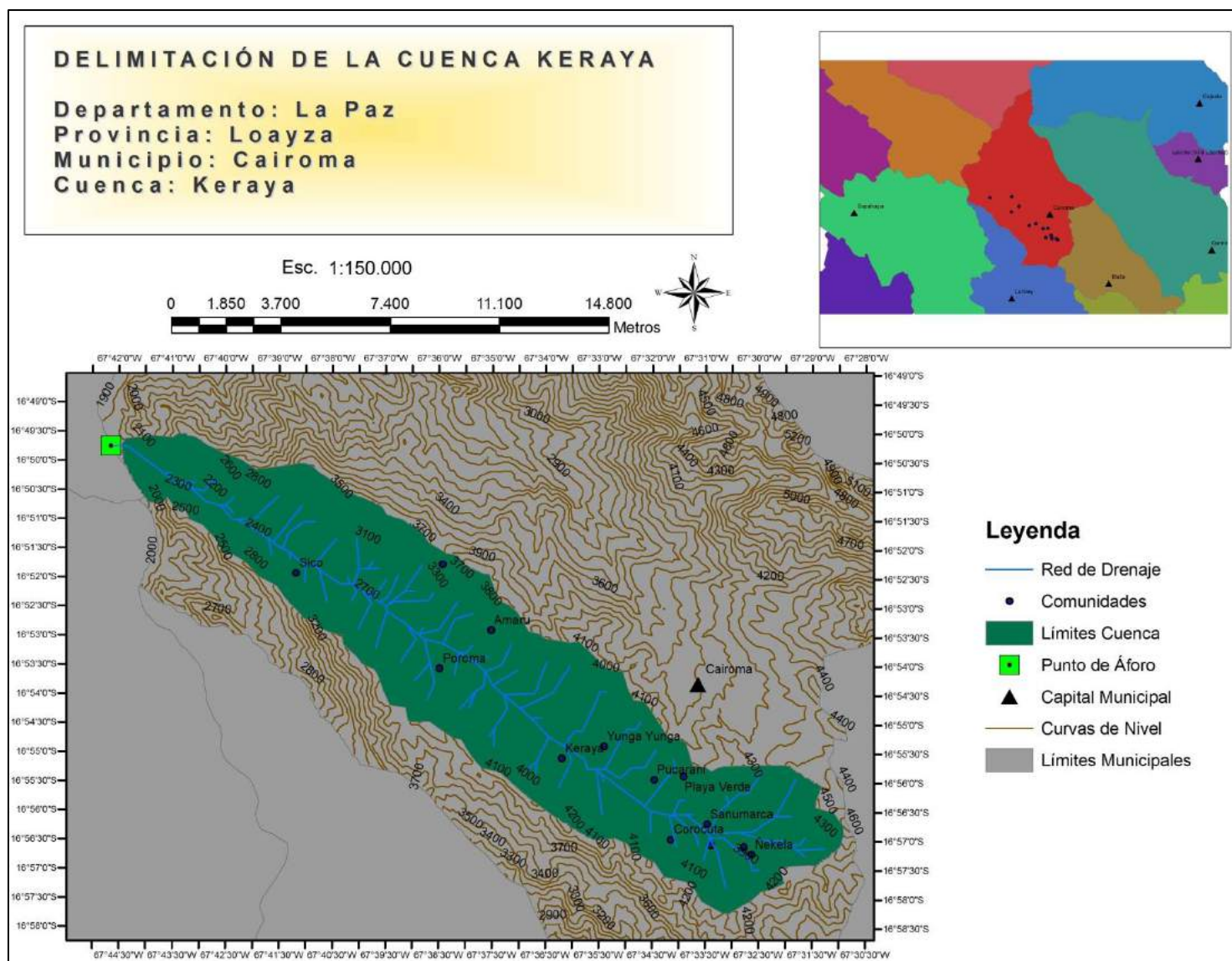
Como se observa en la figura 4 y tabla 3, se delimito un área de 104,92 km<sup>2</sup> que ocupa la Cuenca Keraya, con un perímetro de 61,39 km, donde la cota más alta se encuentra al extremo Sur-Este con una altitud de 4600 m.s.n.m. y la cota más baja se ubica en el punto de aforo del río principal al extremo Nor-Este con una elevación de 2000 m.s.n.m.

**Tabla 3. Parámetros de relieve de la Cuenca Keraya**

PARÁMETROS DE RELIEVE	
Parámetro	Resultado
Área	104,92 km <sup>2</sup>
Perímetro	61,39 km
Mayor Elevación	4600 m.s.n.m.
Menor Elevación	2000 m.s.n.m.
Longitud del Cauce Principal	26,17 km
Elevación Media	3300 m.s.n.m.
Pendiente Media(Sc)	55%
Pendiente Media del Cauce Principal(Pm)	10,61%

El cauce principal de la cuenca delimitada tiene una longitud de 26,17 km con una pendiente de 10,61 %, muy alejado de valor obtenido de la pendiente media de toda la cuenca que dio un resultado de 55% con una elevación media de 3300 m.s.n.m.

Con respecto a estos resultados conseguidos, Vásquez et al (2000) afirma que un área menor a 50000 hectáreas se la considera en una unidad hidrológica como una Subcuenca, valor que se afirmarí que es la Cuenca Keraya, puesto que el área obtenida es de 104917085,37 m<sup>2</sup> equivalente a 10491,71 hectáreas.



**Figura 4. Delimitación de la cuenca hidrológica**

Como se observa en la figura 5 y tabla 4, se puede conocer el área que ocupa cada pendiente en metros cuadrados y hectáreas, donde las mayores superficies se encuentran en los rangos de pendiente de 10, 40, 50, 60 y 70 % como se muestra en la figura siguiente.

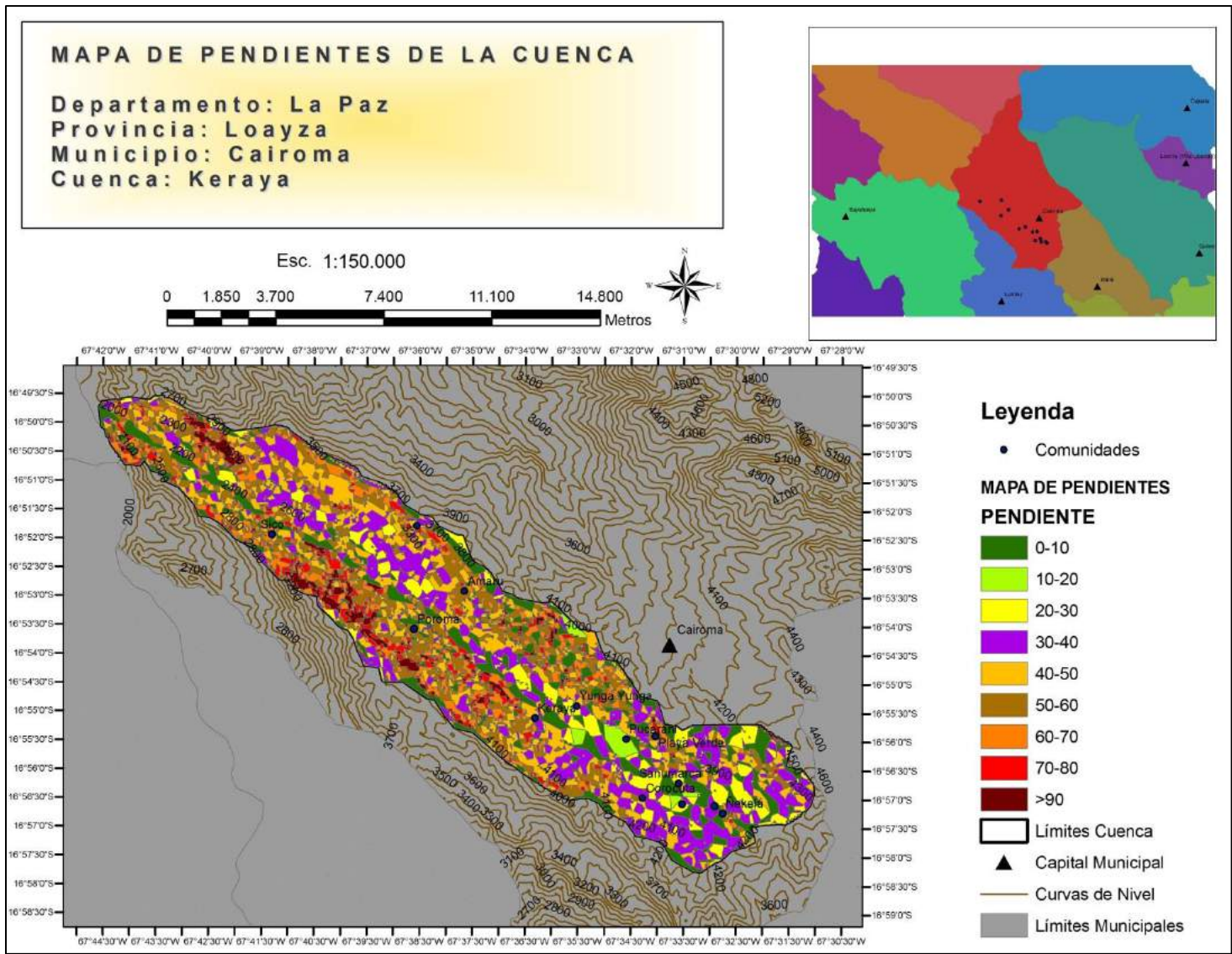
**Tabla 4. Áreas por pendientes en la Cuenca Keraya**

<b>PENDIENTE</b>	<b>Área(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área(Has)</b>
0-10	16833477,34	1683,35
10-20	1552220,84	155,22
20-30	8477773,80	847,78
30-40	19932279,55	1993,23
40-50	20982802,33	2098,28
50-60	16850083,45	1685,01
60-70	11352836,34	1135,28
70-80	5369688,50	536,97
>90	3558085,83	355,81

Fuente: Elaboración propia

Las pendientes que se encuentran en un rango de 10, 40 y 50 %, que corresponden a terrenos accidentado medio y fuertemente accidentados respectivamente se los utiliza generalmente dentro de la Cuenca Keraya para la producción de cultivos, en cambio las pendientes correspondientes a 60 y 70 %, que son categorizados como muy escarpados se los utiliza para pastoreo.

Cabe resaltar que estas pendientes altas en toda la Cuenca Keraya son perjudiciales para el suelo, puesto que existe una gran pérdida del mismo, debido también a que no existe un manejo integrado de cuencas en la zona, con mucha probabilidad de generar en un futuro cercano la erosión de los terrenos cultivables y de pastoreo, por su uso intensivo a lo largo de los años.



**Figura 5. Mapa de pendientes de la Cuenca Keraya**

### 6.3.2. Determinación de los parámetros físicos de forma de la Cuenca Keraya

Como se observa en la figura 6 y tabla 5, en donde muestra el rectángulo equivalente, se puede comparar el área de la Cuenca Keraya con la de un polígono rectangular que para obtener sus 104917085,37 m<sup>2</sup> da valores de un ancho de 3880 metros y un largo de 27029 metros.

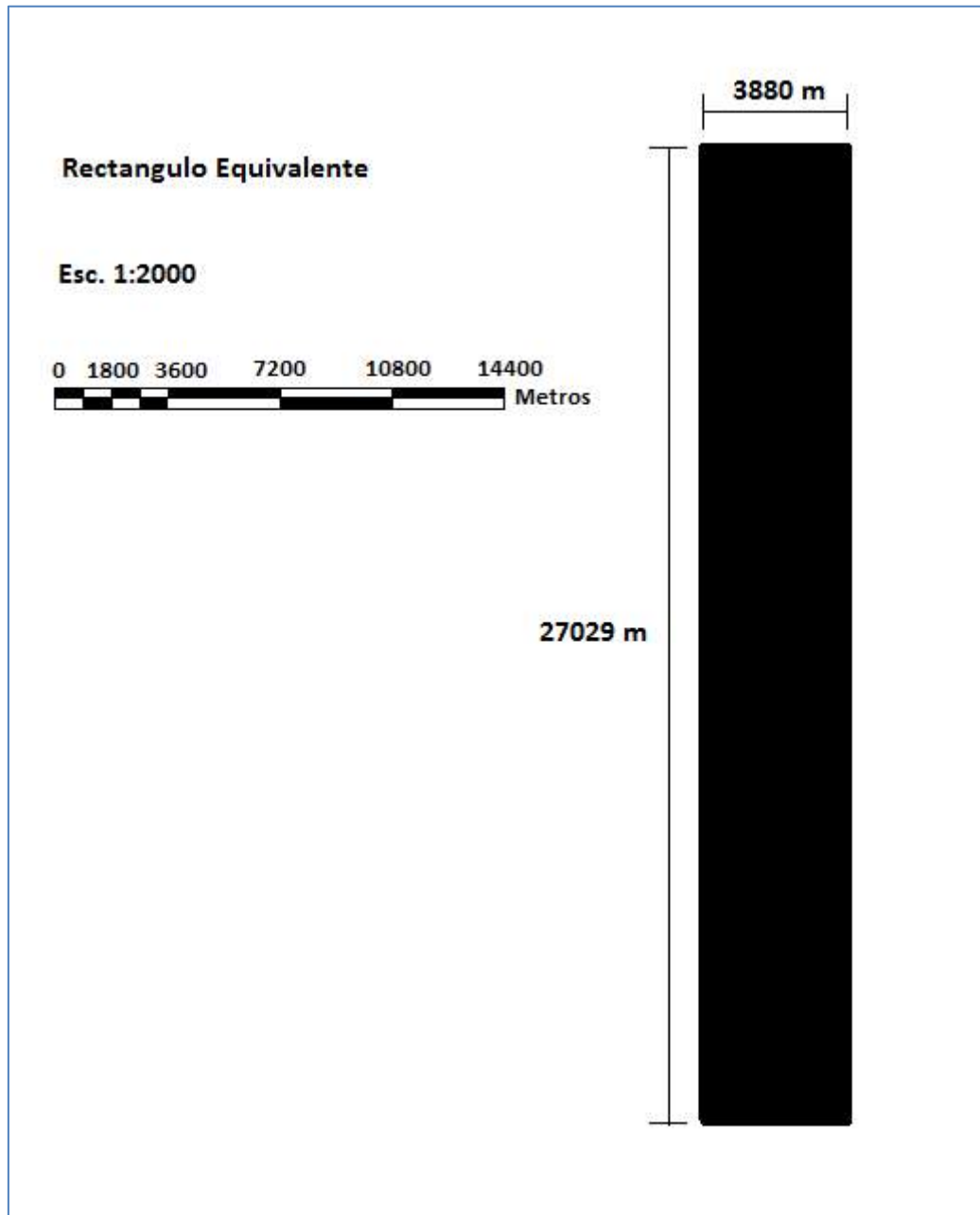


Figura 6. Rectángulo equivalente al área de la Cuenca Keraya

El resultado del coeficiente de compacidad para la Cuenca Keraya dio un valor adimensional de 1,69, lo que indica que según las categorías descritas para la clasificación de este parámetro propuesta por Graveolius y mencionada por Londoño (2001), la forma de la cuenca es oval oblonga que significa este tipo de cuencas son las que tienen menor torrencialidad puesto que llega a tener un buen drenaje por sus características y debido a su pendiente media que es muy escarpada.

**Tabla 5. Parámetros de forma de la Cuenca Keraya**

<b>PARÁMETROS DE FORMA</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Rectángulo Equivalente	L = 27,03 km ; a = 3,88 km
Coeficiente de Compacidad	1,69

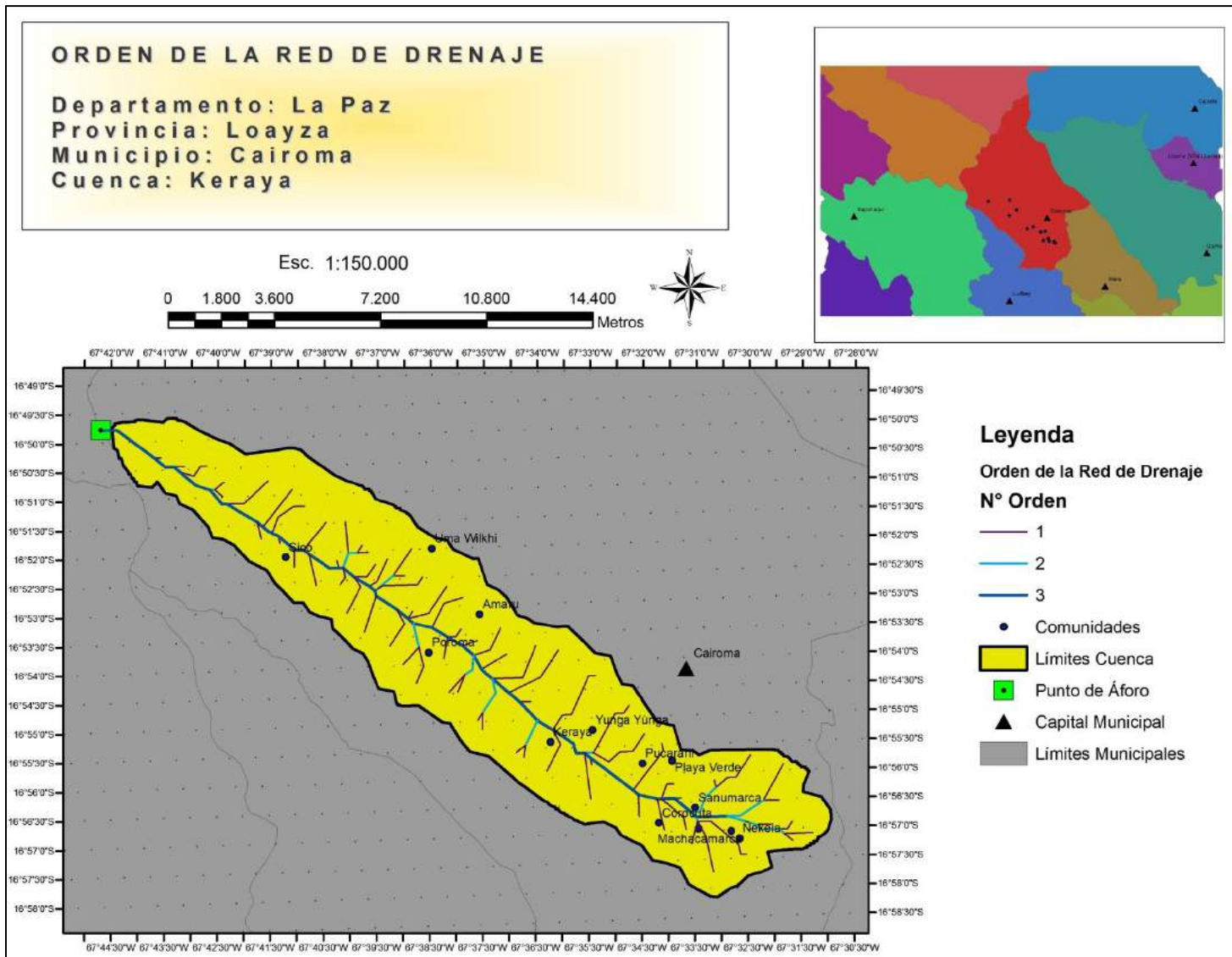
### **6.3.3. Determinación de los parámetros físicos de drenaje de la Cuenca Keraya**

Los resultados de los parámetros de drenaje para conocer la eficiencia de este en la Cuenca Keraya dieron valores positivos y alentadores para una posible implementación de una gestión de riesgos a futuro, estos datos se los muestra y analiza a continuación en la tabla 6.

**Tabla 6. Parámetros de drenaje de la Cuenca Keraya**

<b>PARÁMETROS DE DRENAJE</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Orden de los cursos de los cauces	3
Número total de cauces identificados	84
Densidad de Drenaje	0,8 cauces/km <sup>2</sup>
Tiempo de Concentración	1,99 Hrs.





**Figura 7. Orden de la red de drenaje de la Cuenca Keraya**

Como muestra la figura 7, el orden de la red de drenaje de la cuenca Keraya es 3, lo que indica que es una cuenca bien drenada, sin estancamiento de aguas y mucho menos inundaciones.

**Tabla 7. Longitudes de Orden 1 de la red de drenaje de la Cuenca Keraya**

<b>ORDEN</b>	<b>Longitud(m)</b>	<b>Longitud(Km)</b>	<b>Sumatoria Total(km)</b>
1	221,202	0,221	69,428
1	368,665	0,369	
1	1114,526	1,115	
1	434,357	0,434	
1	318,880	0,319	
1	1770,323	1,770	
1	1699,996	1,700	
1	1726,602	1,727	
1	535,955	0,536	
1	229,695	0,230	
1	1275,906	1,276	
1	1006,218	1,006	
1	318,871	0,319	
1	368,621	0,369	
1	555,869	0,556	
1	229,697	0,230	
1	973,774	0,974	
1	1169,189	1,169	
1	368,609	0,369	
1	995,351	0,995	
1	625,126	0,625	
1	1193,184	1,193	
1	1830,670	1,831	
1	1412,070	1,412	
1	318,857	0,319	
1	1922,071	1,922	
1	1326,350	1,326	
1	1647,374	1,647	
1	613,716	0,614	
1	1439,033	1,439	
1	538,245	0,538	
1	749,533	0,750	



<b>ORDEN</b>	<b>Longitud(m)</b>	<b>Longitud(Km)</b>	<b>Sumatoria Total(km)</b>
1	1470,155	1,470	
1	852,865	0,853	
1	1062,695	1,063	
1	1262,986	1,263	
1	2228,152	2,228	
1	852,846	0,853	
1	650,454	0,650	
1	2434,799	2,435	
1	368,541	0,369	
1	318,836	0,319	
1	555,872	0,556	
1	2664,662	2,665	
1	434,242	0,434	
1	410,235	0,410	
1	2215,423	2,215	
1	229,704	0,230	
1	2262,004	2,262	
1	1554,562	1,555	
1	2035,471	2,035	
1	229,708	0,230	
1	1789,211	1,789	
1	1462,241	1,462	
1	766,960	0,767	
1	221,094	0,221	
1	1495,704	1,496	
1	515,889	0,516	
1	704,703	0,705	
1	995,393	0,995	
1	1233,032	1,233	
1	515,870	0,516	
1	613,601	0,614	
1	958,033	0,958	
1	781,447	0,781	
1	318,817	0,319	
1	2032,248	2,032	
1	1631,017	1,631	

En la tabla 7,8 y 9, se puede conocer las longitudes en metros y kilómetros por número de Orden en la cuenca, donde se analiza la sumatoria total de los cauces,

dando resultados de un total 69,43 km para los cauces de Orden 1, un total de 10,93 km para el Orden 2 y 23,26 km para los ríos de Orden 3.

Esto revela que el orden 1 contiene un mayor número de ríos, pero estos son de mayorías efímeras o intermitentes, al igual que los de orden 2, es decir que solo están con cauce de agua al momento y poco tiempo después de las precipitaciones.

El orden 1 cuenta con 68 ríos, el Orden 2 con 15 y el orden 3, si se los desglosara, con 41 cauces, dando un total de 84 cauces en toda la cuenca.

**Tabla 8. Longitudes de Orden 2 de la red de drenaje de la Cuenca Keraya**

ORDEN	Longitud(m)	Longitud(Km)	Sumatoria Total(km)
2	147,46	0,15	10,93
2	294,90	0,29	
2	545,90	0,55	
2	868,63	0,87	
2	765,66	0,77	
2	814,72	0,81	
2	1309,64	1,31	
2	966,40	0,97	
2	294,81	0,29	
2	1378,55	1,38	
2	1438,76	1,44	
2	153,14	0,15	
2	935,89	0,94	
2	802,11	0,80	
2	212,55	0,21	

**Tabla 9. Longitudes de Orden 3 de la red de drenaje de la Cuenca Keraya**

ORDEN	Longitud(m)	Longitud(Km)	Sumatoria Total(km)
3	1824,36	1,82	23,26
3	720,11	0,72	
3	212,59	0,21	

<b>ORDEN</b>	<b>Longitud(m)</b>	<b>Longitud(Km)</b>	<b>Sumatoria Total(km)</b>
3	1105,90	1,11	
3	693,37	0,69	
3	1076,08	1,08	
3	212,58	0,21	
3	212,58	0,21	
3	332,29	0,33	
3	637,74	0,64	
3	294,90	0,29	
3	212,58	0,21	
3	1042,48	1,04	
3	147,44	0,15	
3	425,15	0,43	
3	538,01	0,54	
3	212,57	0,21	
3	153,13	0,15	
3	747,56	0,75	
3	425,14	0,43	
3	212,57	0,21	
3	609,29	0,61	
3	537,98	0,54	
3	537,98	0,54	
3	425,13	0,43	
3	482,48	0,48	
3	425,13	0,43	
3	637,69	0,64	
3	425,12	0,43	
3	755,50	0,76	
3	537,93	0,54	
3	1348,56	1,35	
3	212,55	0,21	
3	1593,62	1,59	
3	212,55	0,21	
3	609,15	0,61	
3	147,40	0,15	
3	442,19	0,44	
3	637,64	0,64	
3	212,55	0,21	
3	1031,75	1,03	

Los cauces de orden 3 en la cuenca Keraya están comprendidos en su gran mayoría por el río principal de esta, teniendo su lugar en las cotas más bajas de cada sub cuenca y con los mayores caudales.

Con respecto a la densidad de drenaje se muestra que existe 0,8 cauces por kilómetro cuadrado en la toda la extensión de la Cuenca Keraya, exponiendo este resultado el excelente drenaje que tiene.

Por último el tiempo de concentración da un valor de 1,99 horas, que indica que las gotas de agua que caen de las precipitaciones dentro de la cuenca, tardan este tiempo en llegar desde el inicio del cauce principal hasta el punto de aforo, que es el final del río y por tanto de la cuenca hidrológica.

#### 6.4. Balance hidrológico de la Cuenca Keraya

Realizando el balance hidrológico en la Cuenca Keraya se reconoció la oferta y demanda de recursos hídricos con el fin de realizar el balance, resultados que se describen a continuación.

##### 6.4.1. Oferta de agua

Como se observa en la tabla 10, la precipitación efectiva a una probabilidad de 75 % en la Cuenca Keraya es de 595,27 mm, precipitación que da a entender que el área es una zona medianamente lluviosa, con agua que se escurre de manera permanente a sus redes de drenaje.

**Tabla 10. Probabilidad de precipitaciones en la Cuenca Keraya**

<b>Año</b>	<b>PP(mm)</b>	<b>&gt;PP&lt;</b>	<b>m</b>	<b>%PP (m/n+1)*100</b>
2007	662,80	1063,20	1	9,09
2008	1063,20	772,90	2	18,18
2009	772,90	761,94	3	27,27
2010	651,80	753,00	4	36,36
2011	650,40	662,80	5	45,45
2012	490,10	651,80	6	54,55
2013	570,20	650,40	7	63,64
2014	753,00	570,20	8	72,73
2015	451,69	490,10	9	81,82
2016	761,94	451,69	10	90,91

Mediante el análisis a la precipitación efectiva hecho precedentemente, se muestra a continuación, en la tabla 11, la oferta de agua que ofrece la Cuenca Keraya a través de las precipitaciones producidas en su propio microclima. En el mes de febrero se

muestra la mayor oferta de volúmenes de agua llegando a 1.252.256,92 m<sup>3</sup> equivalentes a un caudal de 517 l/s en su río principal, por lo contrario en el mes de junio, que es ya época de estiaje, se observa la menor cantidad de volúmenes de agua ofreciendo solo 88.313,79 m<sup>3</sup>, equivalentes a 34,07 l/s de caudal.

Los meses con mayor cantidad de agua en la Cuenca Keraya, y por tanto en sus redes de drenaje, son desde septiembre hasta marzo y los meses de estiaje son claramente de mayo hasta agosto, donde existe la presencia de heladas para la producción de los cultivos de la zona.

**Tabla 11. Oferta de agua en la Cuenca Keraya**

<b>MES</b>	<b>Oferta Total (m3)</b>	<b>Oferta Real (l/s)</b>
<b>Enero</b>	509,07	0,19
<b>Febrero</b>	517,63	0,21
<b>Marzo</b>	266,74	0,10
<b>Abril</b>	90,52	0,03
<b>Mayo</b>	47,25	0,02
<b>Junio</b>	34,07	0,01
<b>Julio</b>	48,52	0,02
<b>Agosto</b>	52,88	0,02
<b>Septiembre</b>	122,14	0,05
<b>Octubre</b>	171,98	0,06
<b>Noviembre</b>	229,28	0,09
<b>Diciembre</b>	383,04	0,14
<b>Oferta Total</b>	2473,14	0,94

El Río Keraya, proveniente de la cabecera de la cuenca debido al deshielo de los glaciares y las precipitaciones mensuales, en total se tiene un volumen de agua como oferta de agua de 2473,14 m<sup>3</sup> equivalente a 0,94 l/s anuales, los cuales

pueden ser aprovechados para riego y agua potable en las 8 comunidades en estudio.

#### 6.4.2. Demanda de agua

Con respecto a la demanda de agua de la Cuenca Keraya para poder cubrir sus requerimientos agrícolas se hace el análisis siguiente:

**Tabla 12. Área y eficiencias del sistema de riego actual en la Cuenca Keraya**

<b>Cultivo</b>	<b>Mes de siembra</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Área Total (has)</b>
Kc (Haba (verde))	Abril	30,00	120,00
Kc (Papa (1ra siembra))	Julio	40,00	
Kc (Papa (2da siembra))	Septiembre	40,00	
Kc (Maíz (choclo))	Octubre	10,00	
<b>Eficiencia Captación</b>		0,75	0,25
<b>Eficiencia Conducción</b>		0,75	
<b>Eficiencia Distribución</b>		0,75	
<b>Eficiencia Aplicación</b>		0,60	

Fuente: Elaboración propia

Se tomó como el área regable a todas las que se encuentran en un rango de pendiente de 0 a 50 %, según el mapa de pendientes mostrado en los resultados de los parámetros físicos, dando una superficie total de 6778 hectáreas, recomendables para el cultivo agrícola, puesto que la superficie restante de la cuenca cuenta con pendientes muy altas, donde el manejo agrícola es más complicado y riesgoso para la conservación de los suelos en el tiempo.

El área que es ideal al que se quisiera llegar para el cultivo de papa, haba, maíz, oca y otros cultivos menores es de 120 hectáreas, que estén dentro solo la cuenca Keraya y así lograr mayores producciones para el municipio.

Con respecto a las eficiencias de aplicación, como se observa en la tabla sucesiva, la captación, conducción y distribución del agua de riego tiene un valor de 75 % de eficacia puesto que los canales existentes son de concreto y la pérdida del líquido es

por evaporación en el medio ambiente. La eficiencia de aplicación llega a un valor de 60 % de eficacia, puesto que aunque muchos de los productores utilizan aspersores para su riego, este es de manera empírica y los que no cuentan con aspersores lo hacen por el método de inundación.

Como se observa en la tabla 13, el requerimiento bruto total de lámina de agua es los meses de junio y noviembre es poco más de 459 mm para ambos, siendo esta la cantidad donde los cultivos en conjunto demandan mayores cantidades de riego, significando un volumen 34,17 y 56,95 m<sup>3</sup> respectivamente.

La demanda total varía en el ciclo de producción de 0,01 a 0,02 l/s, con un valor anual de 0,15 l/s, equivalencia a la que se debe llegar para poder cubrir los requerimientos de los cultivos de papa, haba y maíz. El caudal unitario debe ser durante todo el ciclo de 0,33 1,77 l/s/ha.

La tabla 14 muestra la demanda de agua para el cultivo de haba, que es sembrada en el mes de abril, puesto que en la cuenca Keraya no afecta con gran magnitud las heladas en este ciclo productivo, donde en el mes de junio el haba llega a un Kc de 1,14, llegando a requerir una mayor lámina de agua que es de 116,29 mm que equivale a 8,65 m<sup>3</sup>, es importante que en este mes se disponga de óptimas cantidades de agua, para lo cual es necesario tomar las medidas técnicas para poder cubrir y mejorar los rendimientos.

Como se ve en la tabla 15, sobre la demanda de agua para el cultivo de papa, en su primera siembra que se hace en el año, que empieza en el mes de julio, con el fin de cosechar en el mes de diciembre debido a factores económicos, se observa que en el mes de septiembre el cultivo llega a sus mayores valores de Kc igual 1,02 con requerimientos de una lámina de 125,85 mm y un volumen 12,48 m<sup>3</sup>.

Similar situación se lo ve para la segunda siembra de papa del año productivo, como se observa en la tabla 16, donde el Kc de 1,02 se lo muestra en el mes de noviembre, con una lámina de 134,85 mm y 13,37 m<sup>3</sup> de requerimiento de volumen.



**Tabla 13. Demanda de agua en la Cuenca Keraya**

<b>Mes</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>ANUAL</b>
Req. Bruto Total (mm)	194,71	352,83	459,41	241,44	352,30	302,62	283,63	459,37	266,86	88,04	271,01	0,00	3272,23
Demanda Total (l/s)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
Demanda Total (m3)	14,48	26,25	34,17	41,91	34,94	60,03	63,30	56,95	33,08	10,92	6,72	0,00	382,75
Caudal Unitario Bruto (l/s/ha)	0,75	1,32	1,77	0,90	1,32	1,17	1,06	1,77	1,00	0,33	1,12	0,00	12,50
Área Deficitaria (Has)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tabla 14. Demanda de agua del cultivo de haba en la Cuenca Keraya**

<b>Mes</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>ANUAL</b>
Kc (Haba (verde))	0,43	0,79	1,14	1,03	
ETR (mm)	50,46	89,31	116,29	108,80	364,86
Req. Riego (mm)	49,29	89,31	116,29	108,80	363,69
Req. Neto (m3)	3,67	6,64	8,65	8,09	27,05

**Tabla 15. Demanda de agua del cultivo de papa (1ra siembra) en la Cuenca Keraya**

<b>Mes</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>ANUAL</b>
Kc (Papa (1ra siembra))	0,24	0,74	1,02	0,75	0,48	
ETR (mm)	25,35	89,17	128,79	106,46	73,07	422,84
Req. Riego (mm)	25,35	89,17	125,85	97,50	52,64	390,51
Req. Neto (m3)	2,51	8,84	12,48	9,67	5,22	38,72

**Tabla 16. Demanda de agua del cultivo de papa (2da siembra) en la Cuenca Keraya**

<b>Mes</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>	<b>ANUAL</b>
Kc (Papa (2da siembra))	0,24	0,74	1,02	0,75	0,48	
ETR (mm)	30,30	105,04	155,28	109,17	66,59	466,38
Req. Riego (mm)	27,36	96,08	134,85	66,09	5,64	330,02
Req. Neto (m3)	2,71	9,53	13,37	6,56	0,56	32,73

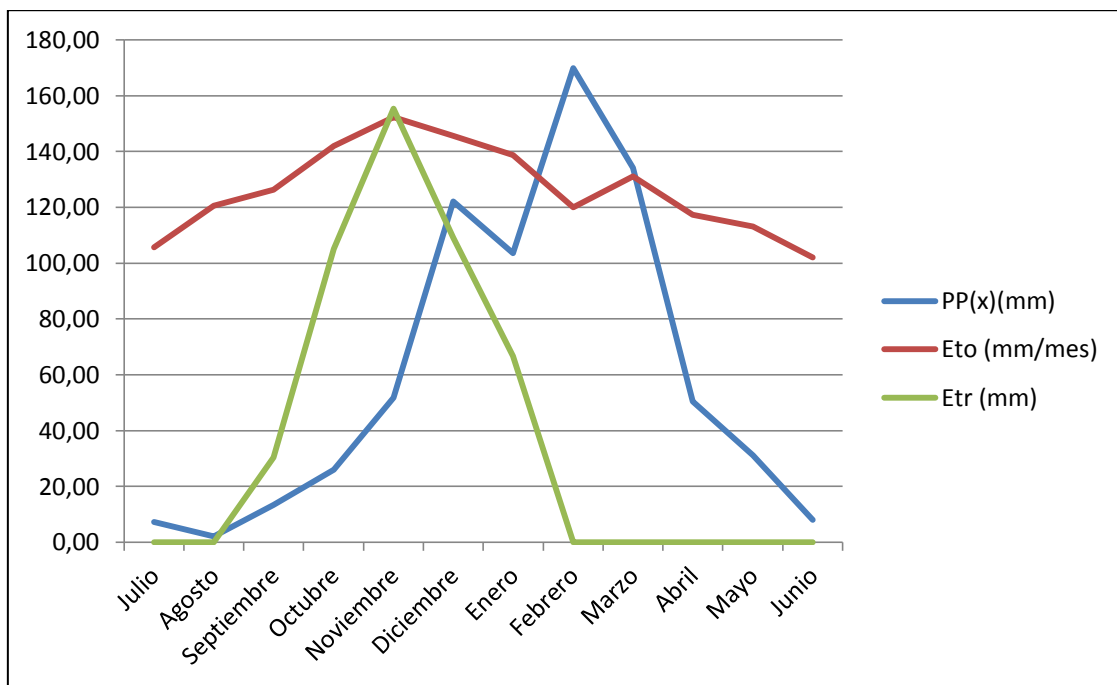
**Tabla 17. Demanda de agua del cultivo de maíz en la Cuenca Keraya**

<b>Mes</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>ANUAL</b>
Kc (Maíz (choclo))	0,24	0,41	0,80	1,08	1,03	
ETR (mm)	34,07	62,42	116,44	149,82	123,66	486,41
Req. Riego (mm)	25,11	41,99	73,37	88,87	68,60	297,94
Req. Neto (m3)	0,62	1,04	1,82	2,20	1,70	7,38

Para el cultivo de maíz, como se observa en la tabla 17, debido a que la siembra comienza en el mes de octubre, luego de la segunda siembra de papa, cabe destacar, el mayor Kc se da en el mes de enero con un valor de 1,08 y requerimiento de lámina de agua de 88, 87 mm y un volumen de 2,27 m<sup>3</sup>.

### 6.4.3. Balance hidrológico

El balance hídrico de la Cuenca Keraya nos muestra, en la tabla 18 y figura 8, que los meses con almacenamiento en el suelo con agua son febrero y marzo, teniendo un déficit los meses restantes de humedad para los cultivos producidos en la Cuenca Keraya anualmente. Los cultivos tienen una evapotranspiración de referencia mayor durante el mes de noviembre con 155,28 mm de lámina coincidiendo con ciclo de desarrollo más alto de los cultivos.



**Figura 8. Balance agrícola de los cultivos en la Cuenca Keraya**

Se observa en la figura 8, que la evapotranspiración de referencia de los cultivos en la cuenca es mayor que la precipitación, a excepción de los meses de febrero y marzo, que es la época de verano con mayor cantidad de lluvias.

**Tabla 18. Balance edafo - climática del agua en la Cuenca Keraya**

<b>Mes</b>	<b>PP(x)(mm)</b>	<b>Eto (mm/mes)</b>	<b>Déficit</b>	<b>Almacenamiento</b>	<b>Exceso</b>	<b>Etr (mm)</b>
Julio	7,27	105,63	98,36	0,00	0,00	0,00
Agosto	2,13	120,51	118,38	0,00	0,00	0,00
Septiembre	13,34	126,27	112,93	0,00	0,00	30,30
Octubre	26,05	141,94	115,89	0,00	0,00	105,04
Noviembre	51,87	152,24	100,37	0,00	0,00	155,28
Diciembre	122,17	145,55	23,38	0,00	0,00	109,17
Enero	103,56	138,72	35,16	0,00	0,00	66,59
Febrero	169,80	120,06	0,00	49,74	0,00	0,00
Marzo	134,09	131,01	0,00	3,08	0,00	0,00
Abril	50,39	117,36	13,21	0,00	0,00	0,00
Mayo	31,13	113,05	81,92	0,00	0,00	0,00
Junio	8,04	102,01	93,97	0,00	0,00	0,00

#### 6.4. Análisis de la calidad de aguas en la Cuenca Keraya

Los resultados de los estudios de laboratorio dieron los siguientes datos, tanto para el Río Keraya y la Represa Choquecota, llegando a este análisis:

**Tabla 19. Resultados del análisis de aguas del Río Keraya**

Parámetros	Resultados	Conversión	Nivel	Categoría
<b>pH</b>	7,92		Ligeramente Básico	Básico
<b>Conductividad Eléctrica</b>	489,00 uS/cm	0,489 dS/m	Salinidad Baja	C1
<b>Sodio</b>	23,00 mg/L	1,00 meq/L		
<b>Potasio</b>	3,90 mg/L			
<b>Calcio</b>	37,19 mg/L	1,86 meq/L		
<b>Magnesio</b>	20,87 mg/L	1,72 meq/L		
<b>Cloruros</b>	5,32 mg/L			
<b>Carbonatos</b>	0,00 mg/L			Muy Blanda
<b>Bicarbonatos</b>	245,99 mg/L			
<b>Sulfatos</b>	14,93 mg/L			
<b>Solidos suspendidos</b>	4,20 mg/L			
<b>Solidos totales</b>	362,78 mg/L			
<b>Solidos disueltos</b>	358,25 mg/L			
<b>Boro</b>	0,12 mg/L			
<b>RAS</b>		3,755	Bajo	S1

Como se observa en la tabla 19, para los resultados de los análisis de aguas en el Río Keraya, se indica que el pH es ligeramente básico, con un dato de 7.92, esto debido principalmente a los sedimentos que recoge en su recorrido, haciendo que el nivel de sales suba, esto también es indicado por la conductividad eléctrica que muestra un resultado de 489 uS/cm, que da a entender que la salinidad es baja entrando a la categoría C1.

Con respecto a la dureza, mostrada por el contenido de carbonatos, muestra claramente que el agua es muy blanda, ideal para tanto el riego como el consumo humano.

Calculando la relación de absorción de sodio, mediante los parámetros del mismo sodio junto con el calcio y magnesio, se obtuvo un valor de 3.755, que indica claramente que está por debajo de **10**, haciendo que este parámetro entre en un nivel de cantidad baja en sales solubles para el agua y la categoría de S1.

Todos los resultados anteriormente descritos muestran que el agua del río Keraya, es apta para el uso en riego de las parcelas de cultivos en la cuenca Keraya.

En el siguiente caso, como se ve en la tabla posterior, para los resultados de los análisis de aguas en la represa Choquecota, se infiere que el pH es ligeramente ácido, con un dato de 6,48, esto debido a que primariamente recoge solidos de su lugar de origen y posición actual, que es en la parte alta de su cuenca en los glaciares, donde el suelo es primordialmente acido, debido a la gran actividad que tiene como reservorio natural de agua, haciendo que el nivel de sales baje debido a un lavado constante de los mismo, esto también es indicado por la conductividad eléctrica que muestra un resultado de 78,40 uS/cm, que da a entender que la salinidad es muy baja ingresando a la categoría C1.

Con relación a la dureza, expuesta por el contenido de carbonatos, muestra visiblemente que el agua es muy blanda, ideal para tanto el riego como el consumo humano.

Calculando la relación de absorción de sodio, mediante los parámetros del propio sodio contiguo con el calcio y magnesio, se logró un valor de 0.088, que revela

manifiestamente que está por debajo de **10**, haciendo que este parámetro entre en un nivel de cantidad baja en sales solubles para el agua y la categoría de S1.

Todos los efectos precedentemente referidos muestran que el agua de la Represa Choquecota, es idónea para el uso en riego de las parcelas de cultivos en la Cuenca Keraya.

**Tabla 20. Resultados del análisis de aguas de la Represa Choquecota**

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Conversión</b>	<b>Nivel</b>	<b>Categoría</b>
<b>pH</b>	6,48		Ligeramente Ácido	Ácido
<b>Conductividad Eléctrica</b>	78,40 uS/cm	0,0784 dS/m	Salinidad Baja	C1
<b>Sodio</b>	0,90 mg/L	0,0391 meq/L		
<b>Potasio</b>	0,60 mg/L			
<b>Calcio</b>	9,75 mg/L	0,4875 meq/L		
<b>Magnesio</b>	1,13 mg/L	0,093 meq/L		
<b>Cloruros</b>	0,48 mg/L			
<b>Carbonatos</b>	0,00 mg/L			Muy Blanda
<b>Bicarbonatos</b>	13,31 mg/L			
<b>Sulfatos</b>	17,78 mg/L			
<b>Solidos suspendidos</b>	2,40 mg/L			
<b>Solidos totales</b>	50,17 mg/L			
<b>Solidos disueltos</b>	47,77 mg/L			
<b>Boro</b>	0,23 mg/L			
<b>RAS</b>		0,088	Bajo	S1

#### **6.4.1. Análisis estadístico de la calidad de aguas del Río Keraya y la Represa Choquecota**

Según el análisis de correlación, mostrado en la tabla posterior, se muestra una correlación positiva entre los parámetros de calidad de aguas del pH con todas las restantes, a excepción de los sulfatos y el boro, que indica claramente que este nos está influenciado por parámetros que hacen que el agua de la zona tenga contaminantes que posteriormente dañen los suelos agrícolas; también presenta una correlación baja con la cantidad de carbonatos, logrando tener poca influencia con la dureza del agua de riego.

Similar situación se nota en la correlación de los demás parámetros entre sí, con la singularidad de 2 grandes grupos identificados. Una es la correlación alta que se tiene entre los sulfatos y el boro, el agua que muestra que la represa Choquecota como la cuenca Keraya concentran estos compuestos desde sus cabeceras, mostrando que el material edáfico contiene buenas cantidades de estos mismos.

Otro grupo ubicado en la correlación es la de los sólidos suspendidos, disueltos y totales con las variables de la conductividad eléctrica, sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), Cloruros (Cl<sup>-</sup>), carbonatos y Bicarbonatos. Lo que indica que la mayoría de los parámetros que hacen que el suelo sea apta para riego, o en otros casos para consumo humano, se encuentran presentes en los sedimentos de la zona, haciendo dar cuenta que es importante la implementación de un manejo integrado de cuencas, esto con la finalidad de evitar la pérdida de suelos que por su alta pendiente hacen que los sedimentos se acumulen en los reservorios naturales de agua.

Con respecto a lo anterior mencionado, el principal elemento que hay que evitar que se penetre en las fuentes de agua para riego es el sodio, que es el mayor destructor de los suelos agrícolas, que juntamente con el calcio y magnesio hacen que la adsorción del componente suelo - agua a este elemento sodio aumente de gran manera, quitando humedad a los campos cultivables de hortalizas y frutícolas de la cuenca Keraya.



**Tabla 21. Análisis de correlación de los parámetros de calidad de aguas**

	pH	Conductividad Eléctrica	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Cloruros	Carbonatos	Bicarbonatos	Sulfatos	Solidos suspendidos	Solidos totales	Solidos disueltos	Boro	RAS
<b>pH</b>	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>Conductividad Eléctrica</b>	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>Sodio</b>	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>Potasio</b>	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>Calcio</b>	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>Magnesio</b>	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>Cloruros</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>Carbonatos</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Bicarbonatos</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>Sulfatos</b>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>Solidos suspendidos</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	-1	1	-1	-1	-1	-1
<b>Solidos totales</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	-1	1	1	-1	-1	-1
<b>Solidos disueltos</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	-1	1	1	1	-1	-1
<b>Boro</b>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	1	-1	-1	-1	1	-1
<b>RAS</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	-1	1	1	1	-1	1

**Tabla 22. Análisis de regresión lineal**

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Coefficiente de Determinación</b>	<b>Coefficiente de Correlación</b>
Río Keraya	15	0,90	0,95

Según el análisis de regresión lineal, muestra un coeficiente de determinación de 90%, lo que significa un valor alto, por lo que se infiere que los parámetros de calidad de aguas estudiados con fines de riego, tienen igualdad en sus valores y por tanto en su comportamiento. También como se muestra en la tabla 22, presenta un coeficiente de correlación de 0,95, que indica que se tiene una correlación positiva de los parámetros de estudio en la calidad de aguas.

**Tabla 23. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados**

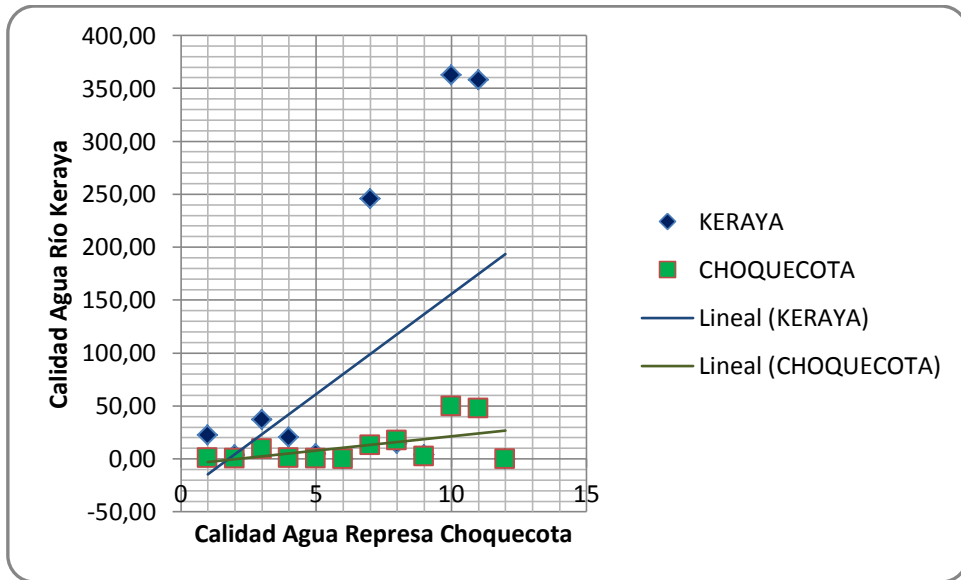
<b>Coefficiente</b>	<b>Estimador</b>	<b>Error Experimental</b>	<b>LI (95 %)</b>	<b>LS (95 %)</b>	<b>T</b>	<b>p-valor</b>
Constante	3,70	17,47	-34,04	41,43	0,21	0,8355
Represa Choquecota	6,63	0,63	5,27	7,99	10,55	< 0,0001

Analizando la tabla 23, se muestra un p – valor inferior a 0,05, que significa que el estimador para la variable de represa de Choquecota puede permanecer en el modelo.

**Tabla 24. Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)**

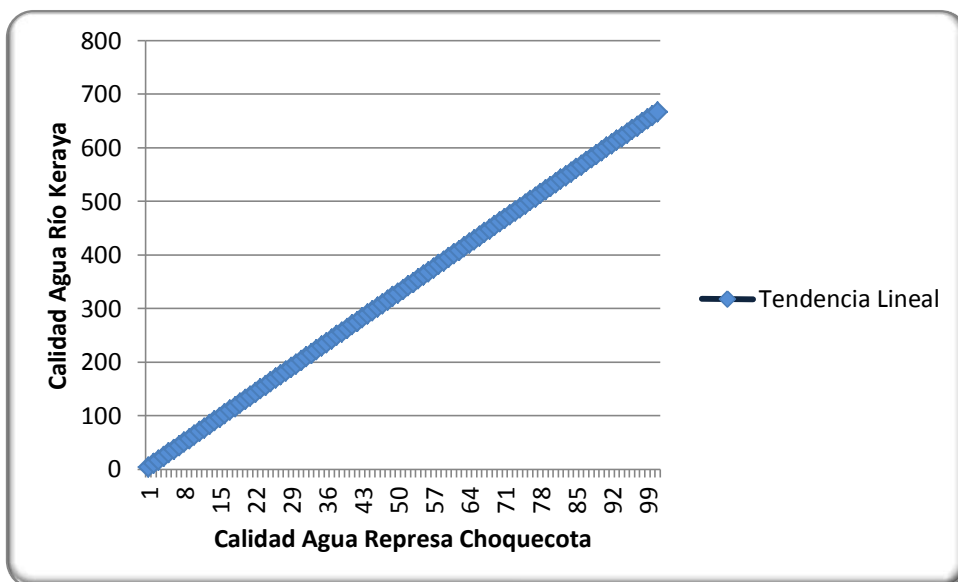
<b>_Fuentes de Variación</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	1	354988,07	354988,07	111,30	< 0,0001
<b>Represa Choquecota</b>	1	354988,07	354988,07	111,30	< 0,0001
<b>Error</b>	13	41462,37	3189,41		
<b>Total</b>	14	396450,44			

En tabla 24 de análisis de Varianza, se tiene un p- valor inferior a 0,05, tanto para el modelo como como para la Represa Choquecota, mostrando la valides del método utilizado para la predicción.



**Figura 9. Diagrama de dispersión de los parámetros de análisis de aguas**

El diagrama de dispersión, visto en la figura 9, muestra el comportamiento de los parámetros de calidad de aguas estudiados, donde se ve una relación positiva entre las variables, esto quiere decir que mientras aumenta el valor de la calidad de agua de Choquecota, también lo hace los parámetros del Río Keraya



**Figura 10. Regresión lineal de los parámetros de análisis de aguas**

La regresión lineal de los datos utilizados, como se muestra en la figura 10, muestra una tendencia directamente proporcional de la calidad de agua del Río Keraya en

relación con la calidad de agua de la Represa Choquecota, demostrando que ambos reservorios de agua tiene similar comportamiento, pudiendo inferir que la calidad de agua de ambos es igual.

Este resultado es muy importante puesto que la Cuenca Keraya usa agua para riego y consumo humano de la Represa Choquecota, distante a varios kilómetros de las comunidades en estudio, exactamente en otra cuenca aledaña, lo que implica el gasto de un mayor presupuesto en el manejo del agua. Si se hiciera proyectos donde se quiera hacer el uso del agua de la cuenca estudiada para proyectos de riego y agua de consumo humano, los costos serían menores, optimizando los insumos.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1. Conclusiones**

El presente estudio llega a las siguientes conclusiones:

En cuanto al inventario de recursos hídricos superficiales, se identificó las fuentes de agua presentes durante la época de lluvias y la época seca, con la identificación de 1 río principal permanente y 23 vertientes, concluyendo que durante la época de lluvias los reservorios de agua están a su máxima capacidad, en cambio durante la época seca, a finales del mes Octubre o principios de noviembre, existe un déficit preocupante de agua en los reservorios, afectando incluso el consumo humano y provocando la pérdida ganado bovino.

El agua proveniente del deshielo de la Cordillera Tres Cruces, es el recurso natural más importante para los pobladores de la Quinta Sección Cairoma y por ende a la Cuenca Keraya debido a su importancia para el riego en la agricultura, principal actividad económica de la región, y menor grado para el consumo pecuario y doméstico.

Dentro de las fuentes de agua para riego, las principales fuentes de agua para la Cuenca Keraya son: la represa Choquecota, cuyo cauce principal presenta un carácter permanente durante todo el año; y las vertientes, que por su carácter estacional a menudo se presentan y tienen mayor importancia para los agricultores en época de lluvias con mayor caudal que en época seco.

Con respecto a las características físicas de la Cuenca Keraya se encontró que tiene un área de 104,92 km<sup>2</sup>, con un perímetro de 61,39 km, alcanzando una altitud máxima de 4600 m.s.n.m y una menor de 2000 m.s.n.m.

La longitud del río principal llega a medir 26,17 km, con una pendiente media de los terrenos de 55 %, el drenaje de la cuenca es muy buena, llegando a tener redes de drenaje de orden 3 y un total de 84 cauces.

El balance hidrológico de la Cuenca Keraya mostro una oferta de 595, 27 mm al 75 % de que ocurra precipitaciones, esto equivalente a un volumen de agua de 6.448.747,80 m<sup>3</sup> y un caudal total proveniente de escorrentía de 229, 28 l/s. La demanda de los cultivos dentro de la Cuenca Keraya es de un requerimiento bruto de precipitaciones de 1.303, 80 mm equivalente a un volumen de agua de 560,76 m<sup>3</sup>.

En el balance hídrico de los cultivos, suelos y precipitaciones ocurridas dio a conocer que solo los meses de febrero y marzo existe un total cubrimiento de las necesidades hídricas de los cultivos, incluso hasta hay exceso de agua en el suelo. Los meses restantes existe un déficit de humedad en el suelo que es cubierto por el riego agrícola.

El análisis de aguas mostro un clase C1S1 con respecto a la calidad de aguas con fines de riego, que indica que es apta para su uso. El pH resulto ligeramente acido en las cabeceras de la cuenca y ligeramente básica durante su trayecto aguas abajo, lo cual sirve para el riego para que los cultivos tengan un crecimiento y desarrollo normal.

La regresión lineal y sus estadísticos de prueba, mostraron que la calidad de aguas de la Represa Choquecota es muy similar al de los afluentes del Río Keraya, teniendo parámetros significativamente correlacionados.

## **7.2. Recomendaciones**

Realizar estudios de factibilidad para la implementación de otros sistemas de riego a fin de incentivar el ahorro del agua, fortaleciendo así la actividad agrícola en la Cuenca Keraya, que pueda beneficiar a las 8 comunidades en estudio.

Mejorar la infraestructura de los sistemas de riego con obras de captación de agua, canales de hormigón y aducción con tuberías de PVC para así evitar la percolación y otros aspectos relacionados con pérdidas de agua, para un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos de la zona, para mitigar la escasez de agua que se da en épocas de estiaje o en el futuro donde realmente faltara el agua.

Es recomendable el estudio específico de la Cuenca Keraya en los temas de suelos, rendimientos de los cultivos y análisis económico para futuros proyectos agropecuarios, ya que la zona es potencial en la producción agrícola.

Es importante realizar un manejo integrado de cuencas en la zona, para evitar la pérdida anual de suelos y flora nativa, debido a las precipitaciones, las pendientes fuertes y la falta de forestación en lugares notorios dentro de la Cuenca Keraya y sus respectivas comunidades.

Por su importancia realizar un inventario específico de fuentes de agua y sistemas de riego por micro cuencas ya que facilitará información para una planificación de futuros proyectos de riegos locales, puesto que se tiene información general como el inventario nacional de sistemas de riego del ministerio de medio ambiente y agua.

## 8. BIBLIOGRAFIA.

- **ABRO**, 2002, Manual de uso, Vice ministerio de Desarrollo Rural Riego, Dirección general de Riego. La Paz – Bolivia.
- **ALLEN**, R.; **PEREIRA**, L.; **RAES**, D. y **SMITH**, M., 2006. Evapotranspiración del cultivo. Estudios FAO: Riegos y Drenaje 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. pp 1 – 18.
- **CALLE**, B. 2013, Evaluación de los recursos hídricos superficiales, con fines de riego, en la OTB “La Algarrobilla”, del Municipio de Machareti- Chuquisaca, Tesis de grado UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz-Bolivia.
- **CEPROMU** (Centro de Promoción de la Mujer). 1996. Diagnostico Participativo, Provincia Loayza del Departamento de La Paz. 5° sección Cairoma-CEPROMU, Editorial UPE, Impresión ABC Impresiones, La Paz – Bolivia, 140 p.
- **COELA**, R. 2010, Evaluación de la demanda de los recursos hídricos con fines de riego tradicional en la cuenca Azanaques (Prov. Sebastián Pagador-Oruro) Tesis de grado UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz-Bolivia.
- **LONDOÑO** Arango, Carlos Hernando. 2001. Cuencas Hidrográficas, Bases conceptuales - Caracterización – Planificación – Administración. Universidad de Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal, Departamento de Ingeniería. Ibagué – Colombia. 359p.
- **GERBRABDY** y **HOOGENDAM**, 1998, Agua y Acequias. Los derechos del agua y la Gestión Campesina de riego en los Andes Bolivianos. Cochabamba – Bolivia.
- **GERBRABDY**, 1993, Consideraciones Conceptuales sobre el Desarrollo de Riego “Hacia un enfoque socio Técnico”. En Revista Agricultura, UMSS. F. C. Y. P.
- **INVENTARIO NACIONAL DE RIEGO**, 2012, Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. Cochabamba – Bolivia.
- **JARRO**, I. 2006, Diagnostico de los recursos hídricos del valle de Araca. Tesis de grado UMSA. Facultad de Ingeniería. La Paz-Bolivia.



- **PEÑARANDA, V. SEJAS, Jaime.** 2003. Aprovechamiento de Recursos Hídricos y Conservación de Suelos. Industrias graficas Epigraf Ltda.297 p.
- **MONTES DE OCA,** Ismael. 1997. Geografía y recursos naturales de Bolivia. Cooperación Técnica Canadiense. La Paz, Bolivia. p. 79-113.
- **ORSAG, V. y MIRANDA, R.** 2000. Evaluación de la gestión de riego tradicional con la aguas del rio desaguadero en la región de Chilahuala y el Choro. Autoridad binacional autónoma del sistema hídrico del Lago Titicaca, rio Desaguadero, Lago Poopo y Salar de Coipasa (TDPS). La Paz – Bolivia.
- **SERRANO,** Genaro. (2010). Ingeniería del riego y drenaje. La Paz – Bolivia. 246 p.
- **SENAMHI** (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrologia.BO).2016. Datos climáticos de la estación Luribay, La Paz.
- **VÁSQUEZ V. A.** 2004. Manejo de cuenca Alto andinas. Universidad Nacional agraria la Molina. Perú.
- **VEN Te Chow.** 2002. Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá – Colombia.
- **ZONISIG.** 2001. Metodología para el cálculo del balance hídrico del suelo. Ministerio de desarrollo sostenible y medio ambiente, subsecretaria de ordenamiento territorial. La Paz – Bolivia.

# **ANEXOS**

### Anexo 1. Rangos de áreas referenciales para las unidades hidrográficas

Unidad Hidrológica	Área (ha)
Cuenca	50000 - 80000
Subcuenca	5000 - 50000
Microcuenca	< 5000

Fuente: Vásquez et al (2000)

### Anexo 2. Caracterización de relieve de una cuenca, según Heras, de acuerdo a su pendiente

Pendiente media (%)	Terrenos
0 – 2	Llano
2 – 5	Suave
5 – 10	Accidentado medio
10 – 15	Accidentado
15 – 25	Fuertemente accidentado
25 – 50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

### Anexo 3. Límites de concentración de acuerdo al riesgo de salinidad

Clase	Nivel de salinidad	TSD (g/litro)	CE(dS/m)	Micromhos/cm
C1	Bajo	< 0,48	< 0,75	0-250
C2	Medio	0,48 < CE < 0,96	0,75 < CE < 1,5	250-750
C3	Alto	0,96 < CE < 1,92	1,5 < CE < 3	750-2250
C4	Muy Alto	>1,92	>3	2250-5000

Fuente: FAO, Citado por Serrano (2010)

#### **Anexo 4. Límites de concentración de la relación de absorción de sodio**

<b>Clase</b>	<b>Nivel</b>	<b>RAS</b>
S1	Bajo	0-10
S2	Medio	10 - 18
S3	Alto	18 - 26
S4	Muy Alto	> 26

Fuente: Elaboración Propia

#### **Anexo 5. Clasificación de aguas de riego de acuerdo al contenido de Boro**

<b>Contenido de Boro en el agua de Riego (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	<b>Clase de agua</b>
< 0,6	Excelente
0,67 a <1,33	Buena
1,33 a < 2,0	Permisible
2,0 < 2,5	Dudosa
> 2,5	Impropia

Fuente: Leeden et al.(1990),Citado por Orsag y Miranda (2000)

## Anexo 6. Rio Keraya en época de crecida





## Anexo 7. Rio Keraya en época de estiaje





## Anexo 8. Represa Choquecota





## Anexo 9. Identificación de fuentes de agua





## Anexo 10. Identificación de Sistemas de Riego



## Anexo 11. Características Físicas en la cuenca Keraya



## Anexo 12. Calculo del balance hídrico mediante el software ABRO 3.1



Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios  
Viceministerio de Asuntos Agropecuarios y Riego  
Dirección General de Servicios Agropecuarios y Riego  
Unidad de Agua y Suelos



### CALCULO DE AREA BAJO RIEGO OPTIMO

#### IDENTIFICACION DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO: SISTEMA DE RIEGO CAIROMA

NOMBRE DEL PROYECTISTA: RONALD PERALTA

LOCALIZACION:

DEPARTAMENTO: La Paz

PROVINCIA: Loayza

MUNICIPIO: Cairoma

COMUNIDAD: KERAYA

LATITUD: 16°55'43"

LONGITUD: 67°34'36"

ZONA AGRO CLIMATICA: Valles





**CALCULO DE AREA BAJO RIEGO OPTIMO**  
**EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET<sub>o</sub>)**  
**Método Penman Monteith**

Latitud: 16 °	Altitud: 3300 msnm
---------------	--------------------

Temperatura Mínima (°C)											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
4.79	4.02	5.31	7.51	10.13	11.44	11.67	11.57	11.32	10.98	9.46	6.98

Temperatura Máxima (°C)											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
22.76	22.36	23.11	22.74	23.93	25.17	23.72	22.74	22.47	23.21	23.36	23.31

Humedad Relativa (HR)											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
0.50	0.51	0.51	0.55	0.59	0.55	0.63	0.64	0.65	0.62	0.60	0.53

ET <sub>o</sub> CALCULADO (mm/día):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
3.40	3.41	3.89	4.21	4.58	5.07	4.70	4.47	4.29	4.23	3.91	3.65



## CALCULO DE AREA BAJO RIEGO OPTIMO

### DATOS SIN PROYECTO

AREA REGABLE (ha):	120.00	Eficiencia del Sistema:	Total: 0.2531
CAPACIDAD MAXIMA DEL CANAL (l/s):	1.00	De captación:	0.75
		De distribución:	0.75
		De conducción:	0.75
		De aplicación:	0.60

PRECIPITACIONES (mm):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
6.24	9.18	11.34	18.93	26.94	42.24	72.43	96.26	88.41	50.44	16.57	8.94

DERECHOS DE TERCEROS (l/s):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cultivo	Mes de siembra	Area (ha)
Papa (intermedia)	Julio	40.00
Papa (intermedia)	Septiembre	40.00
Haba (verde)	Abril	30.00
Maíz (choclo)	Octubre	10.00
TOTAL		120.00

Fuente de Agua: Río Keraya						Volumen total (m3): 2,473.12					
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
34.07	48.52	52.88	122.14	171.98	229.28	383.04	509.07	517.63	266.74	90.52	47.25



### CALCULO DE AREA BAJO RIEGO OPTIMO

#### DATOS CON PROYECTO

AREA REGABLE (ha):	180.00	Eficiencia del Sistema:	Total: 0.7500
CAPACIDAD MAXIMA DEL CANAL (l/s):	1.00	De captación:	1.00
		De conducción:	1.00
		De distribución:	1.00
		De aplicación:	0.75

PRECIPITACIONES (mm):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
6.24	9.18	11.34	18.93	26.94	42.24	72.43	96.26	88.41	50.44	16.57	8.94

DERECHOS DE TERCEROS (l/s):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cultivo	Mes de siembra	Area (ha)
Papa (intermedia)	Julio	50.00
Papa (intermedia)	Septiembre	50.00
Haba (verde)	Abril	50.00
Maíz (choclo)	Octubre	30.00
TOTAL		180.00

Fuente de Agua: Keraya						Volumen total (m3):					
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
34.07	48.52	52.88	122.14	171.98	229.28	383.04	509.07	517.63	266.74	90.52	47.25



**CALCULO DE AREA BAJO RIEGO OPTIMO**  
**AREA BAJO RIEGO OPTIMO SITUACION SIN PROYECTO (PARTE 1)**

PROYECTO: SISTEMA DE RIEGO CAIROMA		AREA BAJO RIEGO OPTIMO: 0.03 (ha)			
CULTIVO	Papa (intermedia)	Papa (intermedia)	Haba (verde)	Maíz (choclo)	TOTAL
AREA REAL (ha)	40.00	40.00	30.00	10.00	120.00
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03

AREA NETA (ha)	120.00
FACTOR DE AREA	0.0002
CAPACIDAD MAXIMA (l/s)	1.00

	Junio 30	Julio 31	Agosto 31	Septiembre 30	Octubre 31	Noviembre 30	Diciembre 31	Enero 31	Febrero 28	Marzo 31	Abril 30	Mayo 31	ANUAL 365
ET (mm/día)	3.40	3.41	3.89	4.21	4.58	5.07	4.70	4.47	4.29	4.23	3.91	3.65	
ET (mm/mes)	102.01	105.63	120.51	126.27	141.94	152.24	145.55	138.72	120.06	131.01	117.36	113.05	1,514.34
Proc. (mm)	6.24	9.18	11.34	18.93	26.94	42.24	72.43	96.26	88.41	50.44	16.57	8.94	447.92
Proc. Efec. (mm)	0.00	0.00	0.00	2.95	8.96	20.43	43.07	60.95	55.06	26.58	1.18	0.00	219.17
Kc (Papa (intermedi))	0.00	0.24	0.74	1.02	0.75	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ETR (mm)	0.00	25.35	89.17	128.79	106.46	73.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	422.85
Req. Riego (mm)	0.00	25.35	89.17	125.85	97.50	52.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	390.52
Req. Neto (m3)	0.00	2.51	8.84	12.48	9.67	5.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.73
Kc (Papa (intermedi))	0.00	0.00	0.00	0.24	0.74	1.02	0.75	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	30.30	105.04	155.28	109.17	66.59	0.00	0.00	0.00	0.00	466.37
Req. Riego (mm)	0.00	0.00	0.00	27.36	96.08	134.85	66.09	5.64	0.00	0.00	0.00	0.00	330.02
Req. Neto (m3)	0.00	0.00	0.00	2.71	9.53	13.37	6.56	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	32.73
Kc (Haba (verde))	1.14	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.79	
ETR (mm)	116.29	108.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.46	89.31	364.86
Req. Riego (mm)	116.29	108.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.29	89.31	363.68
Req. Neto (m3)	8.65	8.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67	6.64	27.05
Kc (Maíz (choclo))	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.41	0.80	1.08	1.03	0.00	0.00	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	34.07	62.42	116.44	149.82	123.66	0.00	0.00	0.00	486.40
Req. Riego (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	25.11	41.99	73.37	88.87	68.60	0.00	0.00	0.00	297.94
Req. Neto (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	1.04	1.82	2.20	1.70	0.00	0.00	0.00	7.39



## CALCULO DE AREA BAJO RIEGO OPTIMO

### AREA BAJO RIEGO OPTIMO SITUACION SIN PROYECTO (PARTE 2)

	Junio 30	Julio 31	Agosto 31	Septiembre 30	Octubre 31	Noviembre 30	Diciembre 31	Enero 31	Febrero 28	Marzo 31	Abril 30	Mayo 31	ANUAL 365
ETR total (mm)	116.29	134.15	89.17	159.10	245.56	290.77	225.61	216.40	123.66	0.00	50.46	89.31	
Area Total (ha)	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	
Req. Neto (m3)	8.65	10.61	8.84	15.19	19.82	19.64	8.37	2.76	1.70	0.00	3.67	6.64	105.91
Req. Riego (mm)	116.29	61.11	89.17	76.60	88.83	88.00	67.55	22.29	68.60	0.00	49.29	89.31	817.03
Caudal Neto (l/s)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Caudal (l/s/ha)	0.45	0.23	0.33	0.30	0.33	0.34	0.25	0.08	0.28	0.00	0.19	0.33	3.12
<b>DEMANDA</b>													
<b>EFICIENCIA TOTAL = 0.253125</b>	Eficiencia de Captación = 0.75			Eficiencia de Conducción = 0.75			Eficiencia de Distribución = 0.75			Eficiencia de Aplicación = 0.60			
Req. Bruto Total (mm)	459.41	241.44	352.30	302.62	350.92	347.64	266.86	88.04	271.01	0.00	194.71	352.83	3,227.79
DEMANDA TOTAL (l/s)	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.16
DEMANDA TOTAL (m3)	34.17	41.91	34.94	60.03	78.31	77.58	33.06	10.92	6.72	0.00	14.48	26.25	418.39
Caudal Unitario Bruto (l/s/ha)	1.77	0.90	1.32	1.17	1.31	1.34	1.00	0.33	1.12	0.00	0.75	1.32	12.32
<b>OFERTA</b>													
Rio Keraya (m3)	34.07	48.52	52.88	122.14	171.98	229.28	383.04	509.07	517.63	266.74	90.52	47.25	2,473.12
Fuente 2 (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fuente 3 (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fuente 4 (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OFERTA TOTAL (m3)	34.07	48.52	52.88	122.14	171.98	229.28	383.04	509.07	517.63	266.74	90.52	47.25	2,473.12
OFERTA REAL (l/s)	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06	0.09	0.14	0.19	0.21	0.10	0.03	0.02	0.95
<b>BALANCE</b>													
BALANCE (l/s)	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.06	0.13	0.19	0.21	0.10	0.03	0.01	
Superficie de Riego Máx. (ha)	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.14	0.58	0.19	0.00	0.05	0.01	
Superficie Adicional (ha)	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.13	0.57	0.19	0.00	0.04	0.01	
AREA DEFICITARIA (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>





### CALCULO DE AREA BAJO RIEGO OPTIMO

#### AREA BAJO RIEGO OPTIMO SITUACION CON PROYECTO (PARTE 1)

PROYECTO: SISTEMA DE RIEGO CAIROMA		AREA BAJO RIEGO OPTIMO: 0.08 (ha)											
CULTIVO	Papa (intermedia)	Papa (intermedia)	Haba (verde)	Maíz (choclo)	TOTAL								
AREA REAL (ha)	50.00	50.00	50.00	30.00	180.00								
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	0.02	0.02	0.02	0.01	0.08								
AREA NETA (ha)		180.00											
FACTOR DE AREA		0.0004											
CAPACIDAD MAXIMA (l/s)		1.00											
	Junio 30	Julio 31	Agosto 31	Septiembre 30	Octubre 31	Noviembre 30	Diciembre 31	Enero 31	Febrero 28	Marzo 31	Abril 30	Mayo 31	ANUAL 365
ET (mm/día)	3.40	3.41	3.89	4.21	4.58	5.07	4.70	4.47	4.29	4.23	3.91	3.65	
ET (mm/mes)	102.01	105.63	120.51	126.27	141.94	152.24	145.55	138.72	120.06	131.01	117.36	113.05	1,514.34
Proc. (mm)	6.24	9.18	11.34	18.93	26.94	42.24	72.43	96.26	88.41	50.44	16.57	8.94	447.92
Proc. Efec. (mm)	0.00	0.00	0.00	2.95	8.96	20.43	43.07	60.95	55.06	26.58	1.18	0.00	219.17
Kc (Papa (intermedi))	0.00	0.24	0.74	1.02	0.75	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ETR (mm)	0.00	25.35	89.17	128.79	106.46	73.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	422.85
Req. Riego (mm)	0.00	25.35	89.17	125.85	97.50	52.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	390.52
Req. Neto (m3)	0.00	5.61	19.73	27.84	21.57	11.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.40
Kc (Papa (intermedi))	0.00	0.00	0.00	0.24	0.74	1.02	0.75	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	30.30	105.04	155.28	109.17	66.59	0.00	0.00	0.00	0.00	466.37
Req. Riego (mm)	0.00	0.00	0.00	27.36	96.08	134.85	66.09	5.64	0.00	0.00	0.00	0.00	330.02
Req. Neto (m3)	0.00	0.00	0.00	6.05	21.26	29.84	14.62	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	73.02
Kc (Haba (verde))	1.14	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.79	
ETR (mm)	116.29	108.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.46	89.31	364.86
Req. Riego (mm)	116.29	108.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.29	89.31	363.68
Req. Neto (m3)	25.73	24.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.90	19.76	80.47
Kc (Maíz (choclo))	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.41	0.80	1.08	1.03	0.00	0.00	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	34.07	62.42	116.44	149.82	123.66	0.00	0.00	0.00	486.40
Req. Riego (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	25.11	41.99	73.37	88.87	68.60	0.00	0.00	0.00	297.94
Req. Neto (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	5.57	9.74	11.80	9.11	0.00	0.00	0.00	39.55



## CALCULO DE AREA BAJO RIEGO OPTIMO

### AREA BAJO RIEGO OPTIMO SITUACION CON PROYECTO (PARTE 2)

	Junio 30	Julio 31	Agosto 31	Septiembre 30	Octubre 31	Noviembre 30	Diciembre 31	Enero 31	Febrero 28	Marzo 31	Abril 30	Mayo 31	ANUAL 365
ETR total (mm)	116.29	134.15	89.17	159.10	245.56	290.77	225.61	216.40	123.66	0.00	50.46	89.31	
Area Total (ha)	0.02	0.04	0.02	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04	0.01	0.00	0.02	0.02	
Req. Neto (m3)	25.73	29.68	19.73	33.90	46.16	47.06	24.36	13.05	9.11	0.00	10.90	19.76	279.44
Req. Riego (mm)	116.29	67.08	89.17	76.60	80.25	81.80	66.82	36.85	68.60	0.00	49.29	89.31	824.06
Caudal Neto (l/s)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
Caudal (l/s/ha)	0.45	0.25	0.33	0.30	0.30	0.32	0.26	0.14	0.28	0.00	0.19	0.33	3.14
<b>DEMANDA</b>													
<b>EFICIENCIA TOTAL = 0.750000</b>	Eficiencia de Captación = 1.00			Eficiencia de Conducción = 1.00			Eficiencia de Distribución = 1.00			Eficiencia de Aplicación = 0.75			
Req. Bruto Total (mm)	155.05	89.43	118.90	102.14	107.90	109.07	91.76	49.14	91.47	0.00	65.72	119.08	1,098.75
DEMANDA TOTAL (l/s)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.14
DEMANDA TOTAL (m3)	34.31	39.57	26.31	45.20	61.55	62.74	32.46	17.39	12.14	0.00	14.54	26.35	372.59
Caudal Unitario Bruto (l/s/ha)	0.60	0.33	0.44	0.39	0.40	0.42	0.34	0.18	0.38	0.00	0.25	0.44	4.19
<b>OFERTA</b>													
Keraya (m3)	34.07	48.52	52.88	122.14	171.98	229.28	383.04	509.07	517.63	266.74	90.52	47.25	2,473.12
Fuente 2 (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fuente 3 (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fuente 4 (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OFERTA TOTAL (m3)	34.07	48.52	52.88	122.14	171.98	229.28	383.04	509.07	517.63	266.74	90.52	47.25	2,473.12
OFERTA REAL (l/s)	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06	0.09	0.14	0.19	0.21	0.10	0.03	0.02	0.95
<b>BALANCE</b>													
BALANCE (l/s)	0.00	0.00	0.01	0.03	0.04	0.06	0.13	0.18	0.21	0.10	0.03	0.01	
Superficie de Riego Máx. (ha)	0.02	0.05	0.04	0.12	0.16	0.21	0.42	1.04	0.57	0.00	0.14	0.04	
Superficie Adicional (ha)	0.00	0.01	0.02	0.08	0.10	0.15	0.38	1.00	0.55	0.00	0.12	0.02	
AREA DEFICITARIA (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



## CALCULO DE AREA BAJO RIEGO OPTIMO

### CALCULO DEL AREA INCREMENTAL

SIN PROYECTO													
CULTIVO	Papa (inte)	Papa (inte)	Haba (verd)	Maiz (choc)									TOTAL
AREA REAL (ha)	40.00	40.00	30.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	120.00
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
CON PROYECTO													
CULTIVO	Papa (inte)	Papa (inte)	Haba (verd)	Maiz (choc)									TOTAL
AREA REAL (ha)	50.00	50.00	50.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	180.00
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
AREA INCREMENTADA (ha)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
MES	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
SIN PROYECTO	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
CON PROYECTO	0.02	0.04	0.02	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02
AREA INCREMENTADA MES (ha)	0.01	0.03	0.01	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
INDICE DE INCREMENTO MES	1.97	1.55	1.23	1.23	1.58	1.58	1.86	1.86	4.35	0.00	1.97	1.97	
AREA INCREMENTADA (ha):													0.05

## Anexo 13. Análisis Físico Químico de Aguas Represa Choquecota



### MINISTERIO DE EDUCACION

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

## ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : **RONALD FREDDY PERALTA LAURA**  
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*  
*Provincia LOAYZA,*  
*Municipio: CAIROMA, REPRESA CHOQUECOTA.*

N° SOLICITUD: **026 / 2015**  
FECHA DE RECEPCION : **28 / Enero / 2015**  
FECHA DE ENTREGA : **27 / Febrero / 2015**

DESCRIPCIÓN : *Muestra de agua : Evaluación de recursos hídricos con fines de riego en la microcuenca Keraya del Municipio de Cairoma.*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
102-01 2015	pH	6,48	-	Potenciometría
102-02 2015	Conductividad eléctrica	78,40	µS/cm	Conductancia
102-03 2015	Sodio	0,90	mg / L	Flamometría
102-04 2015	Potasio	0,60	mg / L	Flamometría
102-05 2015	Calcio	9,75	mg / L	Absorción atómica
102-06 2015	Magnesio	1,13	mg / L	Absorción atómica
102-07 2015	Cloruros	0,48	mg / L	Método argentométrico
102-08 2015	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetría
102-09 2015	Bicarbonatos	13,31	mg / L	Volumetría
102-10 2015	Sulfatos	17,78	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
102-11 2015	Sólidos Suspendidos	2,40	mg / L	Gravimétrico
102-12 2015	Sólidos Totales	50,17	mg / L	Gravimétrico
102-13 2015	Sólidos Disueltos	47,77	mg / L	Gravimétrico
102-14 2015	Boro	0,23	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES.-



RESPONSABLE DE LABORATORIO

JORGE CHUNGARA C.

## Anexo 14. Análisis Físico Químico de Aguas Cuenca Keraya



### MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

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

## ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

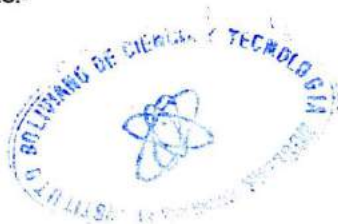
INTERESADO : **RONALD FREDDY PERALTA LAURA**  
PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*  
*Provincia: LOAYZA,*  
*Municipio: CAIROMA*  
**U. M. S. A.**

Nº SOLICITUD: **219 / 2015**  
FECHA DE RECEPCION : **07 / Octubre / 2015**  
FECHA DE ENTREGA : **06 / Noviembre / 2015**

DESCRIPCIÓN : *Muestra de agua : Río Keraya*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
830-01 2015	pH	7,92	-	Potenciometría
830-02 2015	Conductividad eléctrica	489,00	µS/cm	Conductancia
830-03 2015	Sodio	23,00	mg / L	Flamometría
830-04 2015	Potasio	3,90	mg / L	Flamometría
830-05 2015	Calcio	37,19	mg / L	Absorción atómica
830-06 2015	Magnesio	20,87	mg / L	Absorción atómica
830-07 2015	Cloruros	5,32	mg / L	Método argentométrico
830-08 2015	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetría
830-09 2015	Bicarbonatos	245,99	mg / L	Volumetría
830-10 2015	Sulfatos	14,93	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
830-11 2015	Sólidos Suspendidos	4,20	mg / L	Gravimétrico
830-12 2015	Sólidos Totales	362,78	mg / L	Gravimétrico
830-13 2015	Sólidos Disueltos	358,25	mg / L	Gravimétrico
830-14 2015	Boro	0,12	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES.-



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHUNGARA C.