

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO**  
**ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA, EN CALIDAD Y USOS EN LA  
COMUNIDAD DE CORPUMA DEL MUNICIPIO JESÚS DE MACHACA – LA PAZ**

**Por: Jheimy Huanca Chejjo**

CORREO: [Huancajhey@gmail.com](mailto:Huancajhey@gmail.com)

CEL.: 63158560

**Asesores:**

Ing. Rene Felipe Coronel Cortez .....

Ing. Cristóbal Riquelme Molina .....

Ing. Luis Carvajal Paco .....

**Tribunal Revisor:**

Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi .....

Ing. Roberto Aruquipa Amaru .....

Ing. Alfredo Ronald Veizaga Medina .....

**EL ALTO – BOLIVIA**

**Diciembre, 2020**

## RESUMEN

Tiene por objetivo evaluar la calidad del agua para consumo y riego, se caracterizaron 6 fuentes ,obteniendo 3 muestras, 2 para consumo humano en época seca y húmeda y 1 para riego solo en época seca. Según la NB-512 de los 2 puntos de muestreo para consumo durante la época seca y húmeda FA 01 y FA 02 en las gestiones 2020 de acuerdo a los resultados obtenidos se incluye que: todos los parámetros se encuentran dentro de los valores aceptables según la NB-512 excepto en la época húmeda FA 01, sufre variaciones en relación a la dureza y al sulfato, con un valor de 600 mg/l y 439,1 mg/l respectivamente que supera los valores máximos establecidos por la NB-512 que clasifica como agua apta para consumo, los parámetros bacteriológicos muestreados, se observa que FA 01 y FA 02 existe la (E. coli) en época seca y húmeda superando ambos el valor establecido por la NB-512 y en la época seca FA 01 y FA 02 no existe la (E. coli), no son aptas en calidad para consumo. Y el agua de riego se clasifica como buena en todas las normas internacionales; se realizó mapas bases con ayuda de SIG.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La comunidad de Corpuma se encuentra situada en el municipio Jesús de machaca, y cuenta con seis fuentes de agua, que abastecen al consumo humano y riego, estas fuentes no cuentan con el debido control de calidad, por lo que la comunidad padece de enfermedades diarreicas, por tal motivo es necesario caracterizar las seis fuentes existentes para abastecimiento.

Con respecto a la calidad de agua para riego, en Bolivia no existen Normas para la clasificación del agua de riego, por lo cual se toman en cuenta parámetros físico-químicos y normas (H. Greene, Riverside, L.V. Wilcox) internacionales que clasifican el agua apta para riego de cultivos.

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo caracterizar las fuentes de agua en calidad de usos en la comunidad Corpuma.

### **1.1. Objetivos**

#### **1.1.1. Objetivo general**

- Caracterizar las fuentes de agua, en calidad y usos en la Comunidad de Corpuma del municipio Jesús de Machaca-La Paz.

#### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Describir las características fisiográficas del área de estudio e identificación de las fuentes de agua.
- Determinar los parámetros físicos-químicos y bacteriológicos empleados al consumo humano.
- Determinar los parámetros físicos-químicos empleados en el riego de cultivos agrícolas.
- Elaborar mapas temáticos de ubicación de las fuentes de agua, mediante los Sistema de Información Geográfica (SIG).

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Metodología

#### 2.1.1. Etapa I

Se realizó la revisión bibliográfica de estudios de calidad de agua, en consumo humano y riego para tener datos relacionados con la investigación en la Comunidad de Corpuma, todo esto con la finalidad de cumplir los objetivos trazados, y con base en ellos seleccionar los puntos de muestreo más representativos y los parámetros físicos-químicos, bacteriológico.

#### 2.1.2. Etapa II

##### 2.1.2.1. Se identificación de las fuentes de agua

Se eligieron seis principales fuentes de agua acordadas con el presidente de recursos hídricos Don Eulogio Chino y los responsables de la comunidad de Corpuma, de las cuales cinco fuentes son para consumo humano y uno para riego, para ello se tomaron 2 tipos de muestras:

- Muestras para agua potables según la NB-512.
- Muestras para riego.

Los puntos de muestreo fueron identificados, en determinación de la ubicación se utilizó el sistema de posicionamiento Satelital (GPS), la misma que se registraron en coordenadas UTM para el registro de información.

**Cuadro 1. Identificación de fuentes de agua**

Nº De fuentes	Nombre de la fuente	Uso
1	Lipuma	Consumo humano
2	Puma chimuña	
3	Mujsuma 1	Consumo humano
4	Mujsuma 2	
5	Mujsuma 3	
6	Rio Corpuma	Riego

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.1.2.2. Muestras

Se tomaron tres muestras en la comunidad de Corpuma, esto para la determinación de calidad de agua en consumo humano y riego las cuales se codificaron, las muestras se tomaron en época seca y húmeda para consumo y época seca para riego detallado en el (cuadro 15-16).

**Cuadro 2. Números de muestras y códigos de identificación**

Nº	Punto de muestreo	Códigos (ID)	Uso	Beneficiarios
1	Campamento	FA 01	Consumo humano	116 familias
2	Centro de salud	FA 02	Consumo humano	17 familias
3	Rio Corpuma	AR 01	Riego	31 familias

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 3. Actividades de muestreo y trabajo de campo**

Serie de muestreo	Actividades de trabajo	Fecha de muestreo	Fecha entrega de muestras
1 <sup>ro</sup>	Época húmeda: toma de muestras de FA 01 y FA 02.	16/02/2020	17/02/2020
2 <sup>do</sup>	Época seca: toma de muestras de FA 01 y FA 02.	27/09/2020	28/09/2020
3 <sup>ro</sup>	Época seca: toma de muestras de AR 01.	16/02/2020	17/02/2020

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.2.3. Toma de muestras para el consumo humano según la NB-496

Se respeta detalladamente la toma de muestras según la NB-496 sin ningunas alteraciones.

**Cuadro 4. Procedimiento de muestreo parámetros físico-químico para agua potable según la NB-496**

N°.	Actividad	Descripción
1	Preparación de las botellas	Se prepararon los frascos de polietileno con una capacidad de 2 "L"; La recolección de muestras para analizar pH se adquirió en un frasco de 300 ml.
2	Codificación de la botella de muestreo	Se codifico las botellas de muestreo (con la fecha y el código de la muestra correspondiente)
3	Verificación de las condiciones del grifo	Se verifico el grifo seleccionado, sea de uso constante y no presente deterioros.
4	Purga del agua de la red	Se dejo correr el agua por las tuberías a objeto de asegurar que la muestra sea representativa de la red de suministro y no agua estancada.
5	Enjuague de las botellas	Se enjuago dos (2) a tres (3) veces con la misma muestra.
6	Extracción de la muestra	Se lleno las botellas pet hasta que rebalse, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco.
7	Cierre de las botellas	Tapar el frasco con sumo cuidado para que no queden burbujas en su interior.
8	Registro de datos	Todas las muestras se registraron en las planillas de muestreo, la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
9	Transporte de la muestra	Y posteriormente se transportó los frascos en conservadores con hielo.

Fuente: NB-496, 2010.

**Cuadro 5. Procedimiento de muestreo parámetros bacteriológicos para agua potable según la NB-496**

N°.	Actividad	Descripción
1	Preparación de los frascos	Se preparo los frascos de vidrio de boro silicato o de polipropileno, de boca ancha, con tapa rosca de plástico, esterilizados y con un capuchón de papel kraft como protector

		sobre la tapa. La capacidad de los frascos debe ser de 500 ml para los ensayos en membrana filtrante.
2	Codificación del frasco de muestreo	Se codifico el frasco de muestra (la fecha y el código de la muestra correspondiente).
3	Verificación de las condiciones del grifo	Se verifico que el grifo seleccionado, sea de uso constante y no presente deterioros.
4	Limpieza del grifo	Se elimino del grifo cualquier adherencia o suciedad mediante una pinza con una torunda de algodón empapada con alcohol, descartando este material cuidadosamente, sin dejar restos de algodón.
5	Esterilización del grifo	Se esterilizo el grifo durante un minuto con una torunda de algodón emparada en alcohol, siempre con la ayuda de una pinza.
6	Purga de agua del grifo	Se abrió el grifo para dejar correr el agua de 1 min a 3 min, eliminando impurezas y agua estancada en la tubería si es que existiera.
7	Regulación del flujo	Se regulo el flujo de agua proveniente del grifo, con el objeto de evitar la salida de algún cuerpo extraño al frasco de muestreo por lo menos 3 segundos.
8	Extracción de la muestra	Seguidamente se destapo el frasco esterilizado y se llenó con la muestra, sujetando con una mano la tapa y con la otra pone el frasco bajo el chorro de agua, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco. Dejar un espacio de aire de 1 cm antes de que el agua llegue al tope del frasco, lo que facilita homogenizar la muestra antes de su análisis.
9	Tapado del frasco	Se tapo el frasco, enroscando la tapa con el capuchón, sin ninguna inconveniente.
10	Registro de datos	Se Registro en las planillas de muestreo, la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
11	Transportar la muestra	Y posteriormente se transportó los frascos en conservadores con hielo.

**Fuente:** NB-496, 2010.



**Figura 1. Muestra FA 01 para consumo humano**



**Figura 2. Muestra FA 02 para consumo humano**

#### 2.1.2.4. Toma de muestras para riego

La muestra de agua fue tomada de río Corpuma en la época seca, para ello se utilizó un balde, el cual se realizó un previo enjuague de dos a tres veces con el agua del río tomando en cuenta la temperatura con el pHmetro, la cual se distribuyó el contenido a:

- Un frasco de vidrio de 200 ml de capacidad para la determinación de sólidos totales y cationes y no llenando el frasco al rebalse.
- Un frasco de plástico de 2ml de capacidad para la determinación de aniones, no al rebalse con un tapado herméticamente.
- Un frasco de plástico de 2ml de capacidad para la terminación de pH y alcalinidad, llenando al rebalse sin burbujas y tapando herméticamente.
- seguidamente se trasladó las muestras al conservador.

las muestras que fueron llevadas al laboratorio en un máximo de 24 hrs, fueron etiquetadas, estas contienen algunas descripciones como: origen de la fuente, zona, fecha y hora de muestreo, fecha y hora de llegada al laboratorio, etc.



**Figura 3. Muestras AR 01 para riego**

### 2.1.2.5. Identificación de las muestras tomadas

Los recipientes fueron identificados antes de la toma de muestra con una etiqueta ya establecida por el centro de aguas y saneamiento ambiental, cual se procedió a la escrita con letra clara y se protegió con cinta adhesiva transparente esto para mantener dicha identificación intacta, conteniendo la siguiente información:

- Número de muestra (orden de toma de muestra).
- Código de identificación (punto y/o estación de muestreo).
- Fecha y hora de la toma de la muestra.
- Tipo de análisis requerido.
- Nombre del responsable del muestreo.

### 2.1.3. Etapa III

#### 2.1.3.1. Laboratorio

El análisis físico-químico y bacteriológico de las tres muestras de agua para consumo humano, riego se realizó en el Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (UMSA) y Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental (UMSS).

#### 2.1.4. Análisis estadístico

En base a los resultados obtenidos por el Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (UMSA) y Centro De Aguas y Saneamiento Ambiental (UMSS), de los parámetros fisicoquímico y bacteriológico se trataron utilizando Excel.

#### 2.1.5. Variables de respuesta

##### 2.1.5.1. Parámetros físicos-químicos y bacteriológicos

**Cuadro 6. Variables de respuesta**

Variables de respuesta			
Tipo de uso	Parámetros		
Agua potable	Físico-químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ pH</li> <li>➤ Conductividad</li> <li>➤ Turbiedad</li> <li>➤ Cloro</li> <li>➤ Color</li> <li>➤ Solidos disueltos</li> <li>➤ Alcalinidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dureza</li> <li>➤ Hierro</li> <li>➤ Magnesio</li> <li>➤ Manganeseo</li> <li>➤ Sodio</li> <li>➤ Sulfato</li> <li>➤ Coliformes totales</li> </ul>

	Bacteriológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Calcio</li> <li>➤ Nitrato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ E. coli.</li> </ul>
Riego	Físico-químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ pH</li> <li>➤ amonio</li> <li>➤ Conductividad</li> <li>➤ Magnesio</li> <li>➤ Sodio</li> <li>➤ Potasio</li> <li>➤ boro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Solidos disueltos</li> <li>➤ Bicarbonatos</li> <li>➤ Carbonatos</li> <li>➤ Fosforo total</li> <li>➤ Nitrato</li> <li>➤ Sulfatos</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración con base de la NB-512.

### 2.1.5.2. Determinación del caudal

La determinación del caudal nos ayudara a calcular la cantidad de agua que fluye en las fuentes, es decir en 1 segundo cuantos litros de agua corre, para ello utilizamos el método volumétrico.

### 2.1.5.3. Sistema de información geográfica (SIG)

El sistema de información geográfica nos ayudara a ubicar las seis fuentes de agua en la comunidad Corpuma de manera gráfica, donde podremos observar la clasificación, y calidad de las fuentes de aguas en consumo humano y riego.

## 2.2. Tipo de investigación

El método de investigación utilizado fue descriptivo comparativo.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Caracterización de fuentes en la zona de estudio

Se caracterizaron las seis fuentes únicas de agua que abastecen al consumo humano y riego en la comunidad Corpuma de acuerdo a los siguientes cuadros:

Cuadro 7. Lipuma

<b>Nombre de la fuente: Lipuma</b>	
<b>Tipo de fuente:</b> Manantial	
<b>Sector:</b> Cruz pata	
<b>Caudal</b>	
<b>Época seca:</b> 0.6 l/s =600ml <b>Época húmeda:</b> 1.5 l/s=1500 ml	
<b>Ubicación geográfica:</b> Este =514908 Norte =8158417	
<b>Tipo de abastecimiento:</b> Consumo humano	
<p>Esta fuente se encuentra en la región norte y está constituida por montañas altas fuertemente disectadas, pendientes entre 5 – 12 % así con una altitud de 4018 m.s.n.m. Existen afloramientos rocosos, presencia de agricultura (papa, haba, quinua, cañahua, cebada y avena) al 5 %, ganadería (bovino, ovino) al 10%. y 85% praderas nativas entre ellas; <i>festuca urundinacea</i>, <i>gnaphaliun bombeyanun</i>, <i>stipa ichu</i>, etc.).</p>	

Cuadro 8. Puma chimuña

<b>Nombre de la fuente: Puma chimuña</b>	
<b>Tipo de fuente:</b> Manantial	
<b>Sector:</b> Isquillani	
<b>Caudal</b>	
<b>Época seca:</b> 0.78 l/s=780 ml <b>Época húmeda:</b> 2.1 l/s=2100 ml	
<b>Ubicación geográfica:</b> Este =516018 Norte Y=8158242	
<b>Tipo de abastecimiento:</b> Consumo humano	
<p>Esta fuente se encuentra principalmente en la región norte y está constituida por montañas altas fuertemente disectadas, pendientes entre &gt; 44% así mismo con una altitud de 4165 m.s.n.m., existen afloramientos rocosos, presencia de agricultura (papa, haba, quinua, cañahua, cebada y avena) al 0% y ganadería (bovino, ovino) al 2%. Y un 98% praderas nativas entre ellas; <i>Hydrocotyle ranunculoides</i>, <i>festuca urundinacea</i>, <i>gnaphaliun bombeyanun</i>, <i>stipa ichu</i>.</p>	

**Cuadro 9. Mujsuma 1**

<b>Nombre de la fuente: Mujsuma 1</b>	
<b>Tipo de fuente:</b> subterránea	
<b>Sector:</b> Isquillani	
<b>Ubicación geográfica:</b> Este =515438 Norte =8156476	
<b>Tipo de abastecimiento:</b> Consumo humano	
<p>Las fuentes de Mujsuma 1,2,3 están captadas por debajo de la tierra con ayuda de tubos PVC, con pequeños reservorios de agua de 1,50m x 1m. Esta fuente se encuentra en la región norte y está constituida por llanuras de piedemonte con disección moderada pendientes entre 5-12 % así mismo con una altitud de 3965 m.s.n.m. Con una agricultura (papa, haba, quinua, cañahua, cebada y avena) al 30%, una ganadería (bovino, ovino) al 10% y un 60 % praderas nativas entre ellas: <i>Festuca urundinacea</i>, <i>Gnaphaliun bombeyanun</i>, <i>Stipa ichu</i>, <i>Deyeuxia fililolia</i>, <i>Tetraglochin Cristatus</i>.</p>	

**Cuadro 10. Mujsuma 2**

<b>Nombre de la fuente: Mujsuma 2</b>	
<b>Sector:</b> Isquillani	
<b>Altitud:</b> 3961 msnm	
<b>Tipo de fuente:</b> subterránea	
<b>Ubicación geográfica:</b> Este =515416 Norte =8156487	
<b>Tipo de abastecimiento:</b> Consumo humano	
<p>Esta fuente se encuentra principalmente en la región norte y está constituida por llanuras de piedemonte con disección moderada pendientes entre 5-12 % así mismo con una altitud de 3961 m.s.n.m., presencia de rocas, y con una agricultura (papa, haba, quinua, cañahua, cebada y avena) al 30%, ganadería (bovino, ovino) al 10%. y un 60 % praderas nativas entre ellas: <i>Festuca urundinacea</i>, <i>Gnaphaliun bombeyanun</i>, <i>Stipa ichu</i>, <i>Deyeuxia fililolia</i>, <i>Tetraglochin Cristatus</i>.</p>	

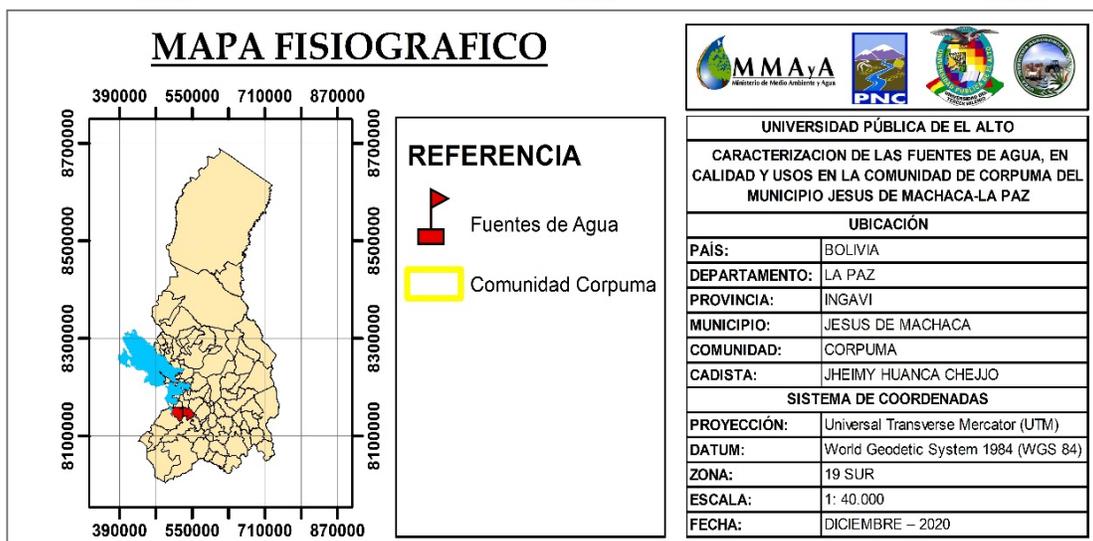
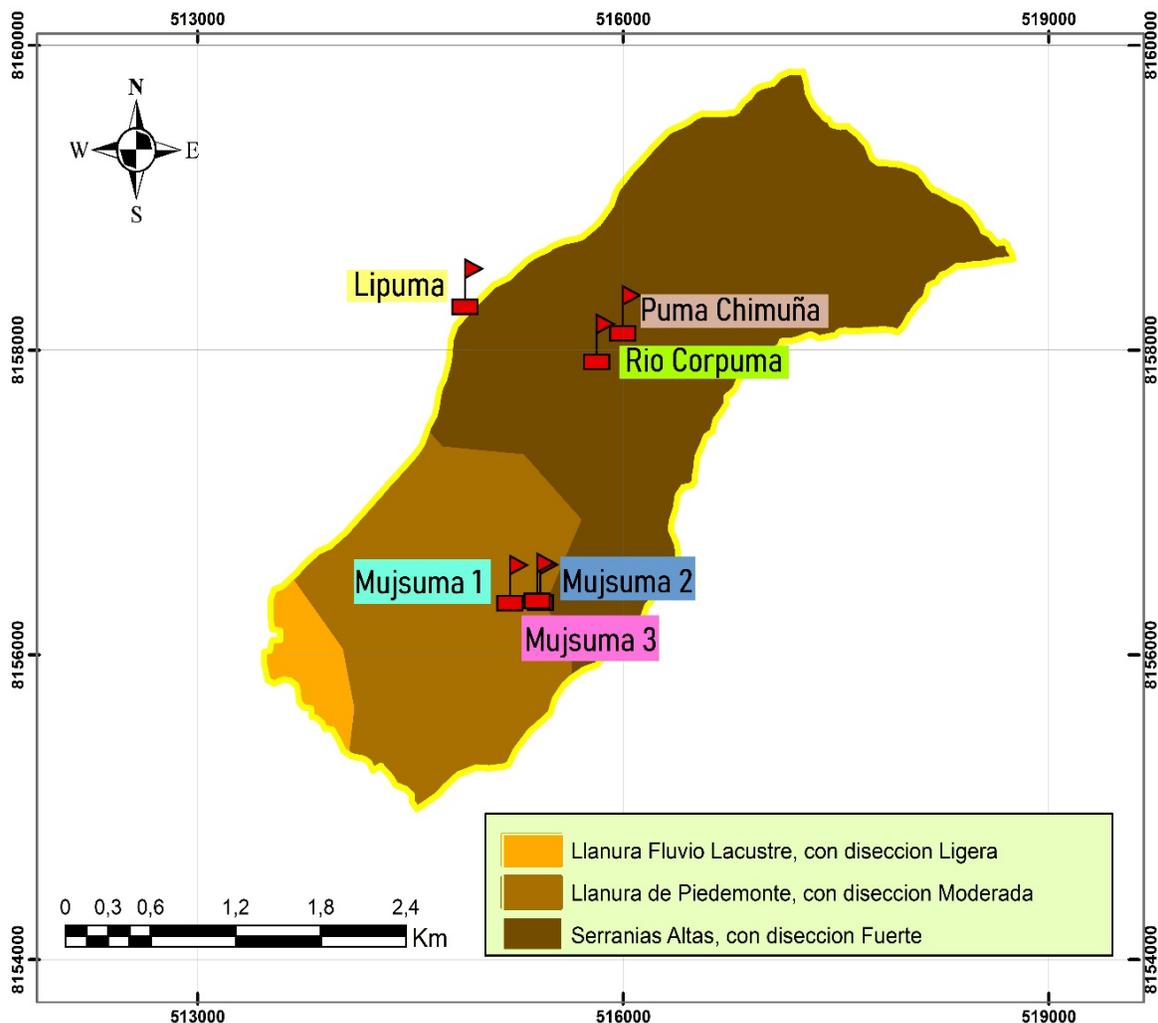
Cuadro 11. Mujsuma 3

Nombre de la fuente: Mujsuma 3	
<b>Tipo de fuente:</b> subterránea	
<b>Sector:</b> Isquillani	
<b>Ubicación geográfica:</b> Este =515224 Norte =8156473	
<b>Tipo de abastecimiento:</b> Consumo humano	
<p>Esta fuente se encuentra principalmente en la región norte y está constituida por llanuras de piedemonte con disección moderada pendientes entre 5-12 % así mismo con una altitud de 3956 m.s.n.m., presencia de rocas, y con una agricultura (papa, haba, quinua, cañahua, cebada y avena) al 30% y ganadería (bovino, ovino) al 10%. y un 60 % praderas nativas entre ellas: <i>Festuca urundinacea</i>, <i>Gnaphaliun bombeyanun</i>, <i>Stipa ichu</i>, <i>Deyeuxia fililolia</i>, <i>Tetraglochin Cristatus</i>.</p>	

Cuadro 12. Rio Corpuma

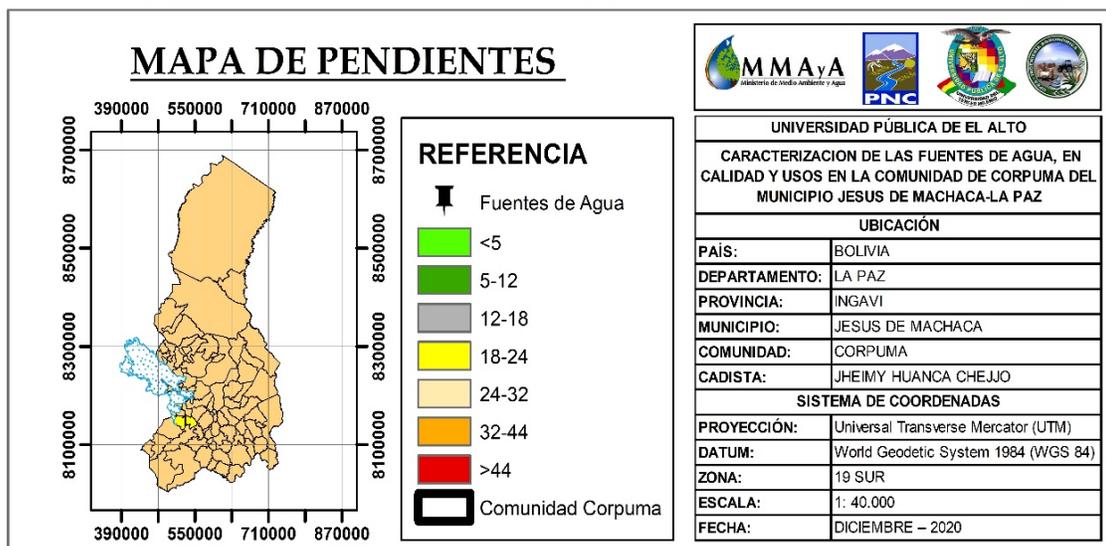
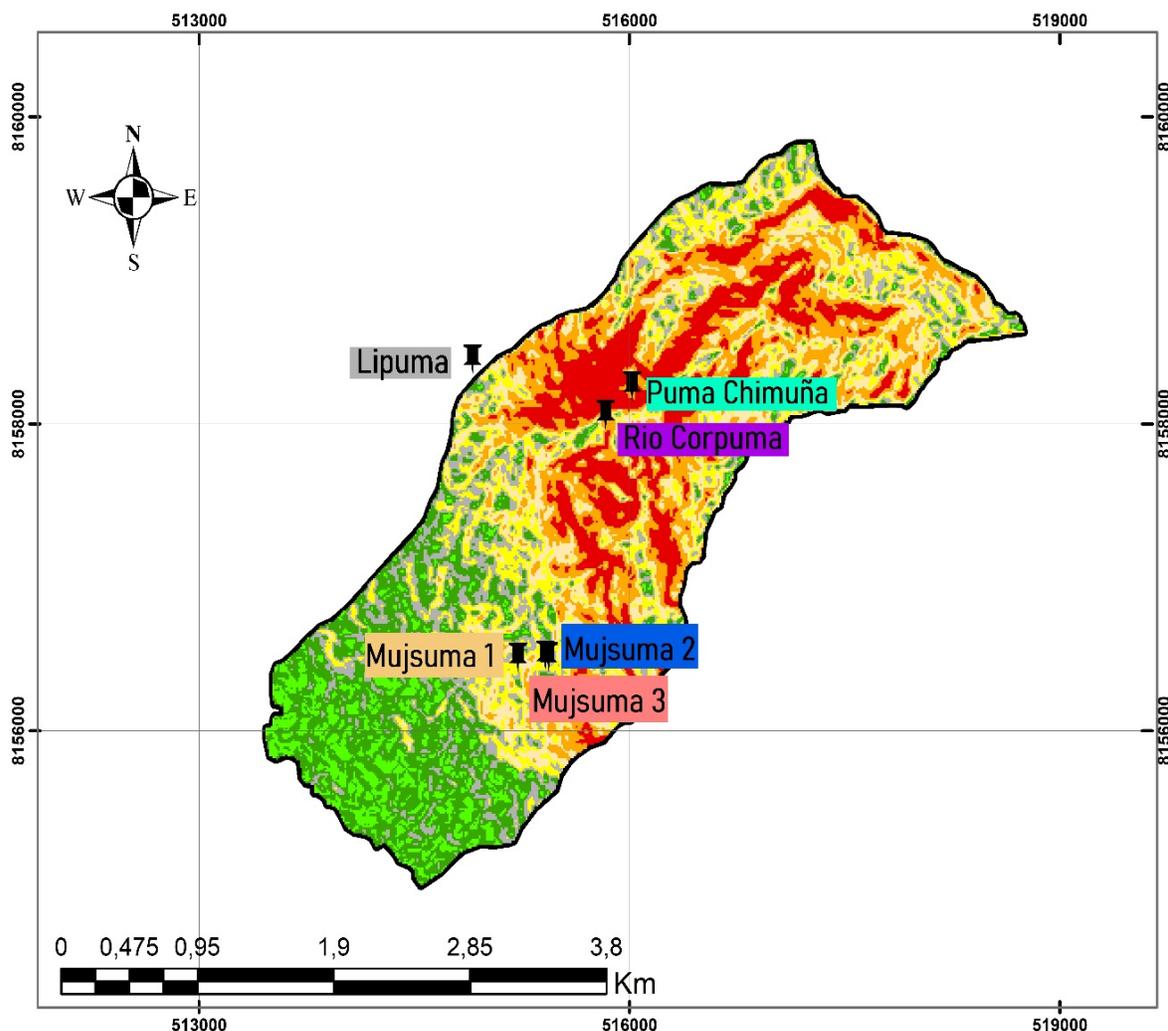
Nombre de la fuente: Rio Corpuma	
<b>Tipo de fuente:</b> Superficial	
<b>Caudal</b>	
<b>Época seca:</b> 6,5 l/s	
<b>Época húmeda:</b> 16 l/s	
<b>Ubicación geográfica:</b> Este =515835 Norte =8158055	
<b>Tipo de abastecimiento:</b> Riego de cultivo	
<p>Esta fuente es la más grande identificada ya que es el punto de aforo del Rio Corpuma, abasteciendo a 31 familias de los sectores para riego. se encuentra principalmente en la región norte y constituida por montañas altas fuertemente disectadas, pendientes entre 5-12 % así mismo con una altitud de 4078 m.s.n.m., con la presencia de rocas sedimentadas arenisca, con una agricultura (papa, haba, quinua, cañahua, cebada y avena) al 2% y ganadería (bovino, ovino) al 1%. y un 97 % praderas nativas entre ellas: <i>Festuca urundinacea</i>, <i>Gnaphaliun bombeyanun</i>, <i>Stipa ichu</i>, <i>Deyeuxia fililolia</i>, <i>Tetraglochin Cristatus</i>.</p>	

Figura 4. Mapa fisiográfico



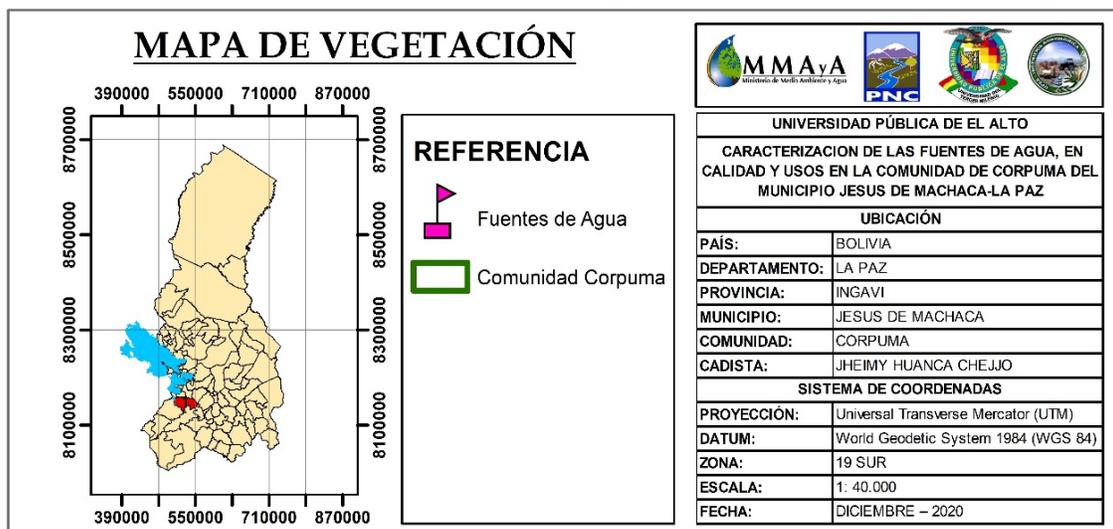
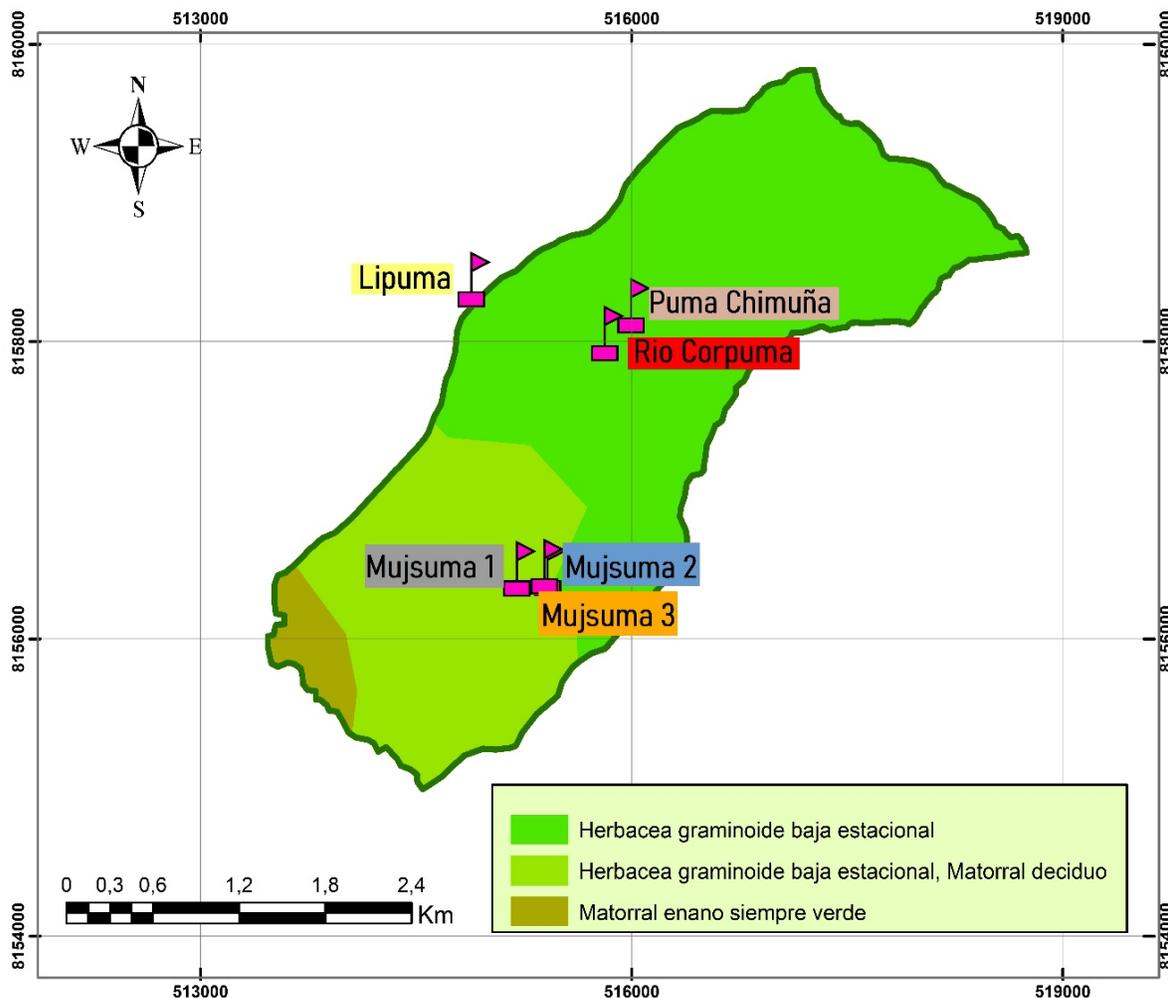
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Mapa de pendientes



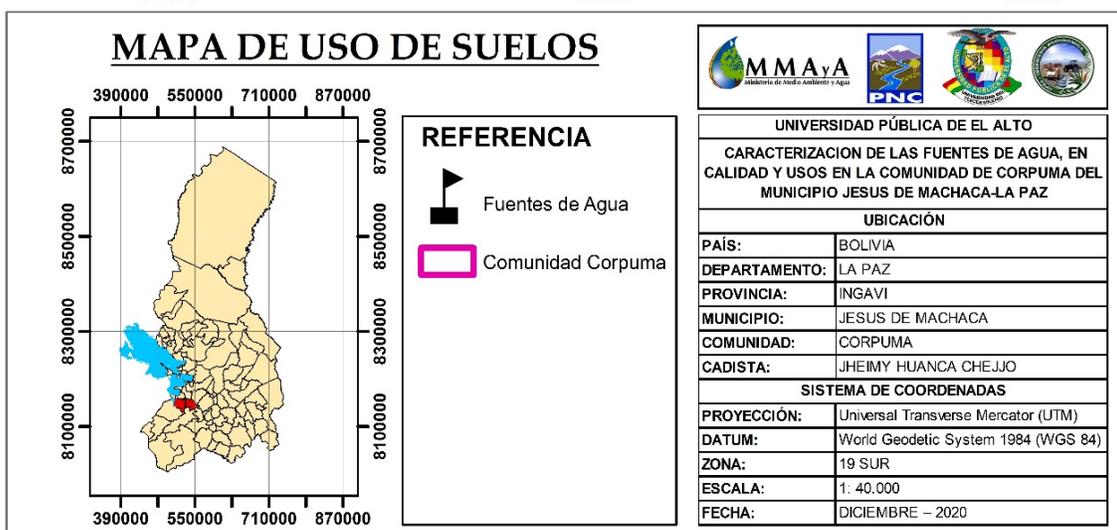
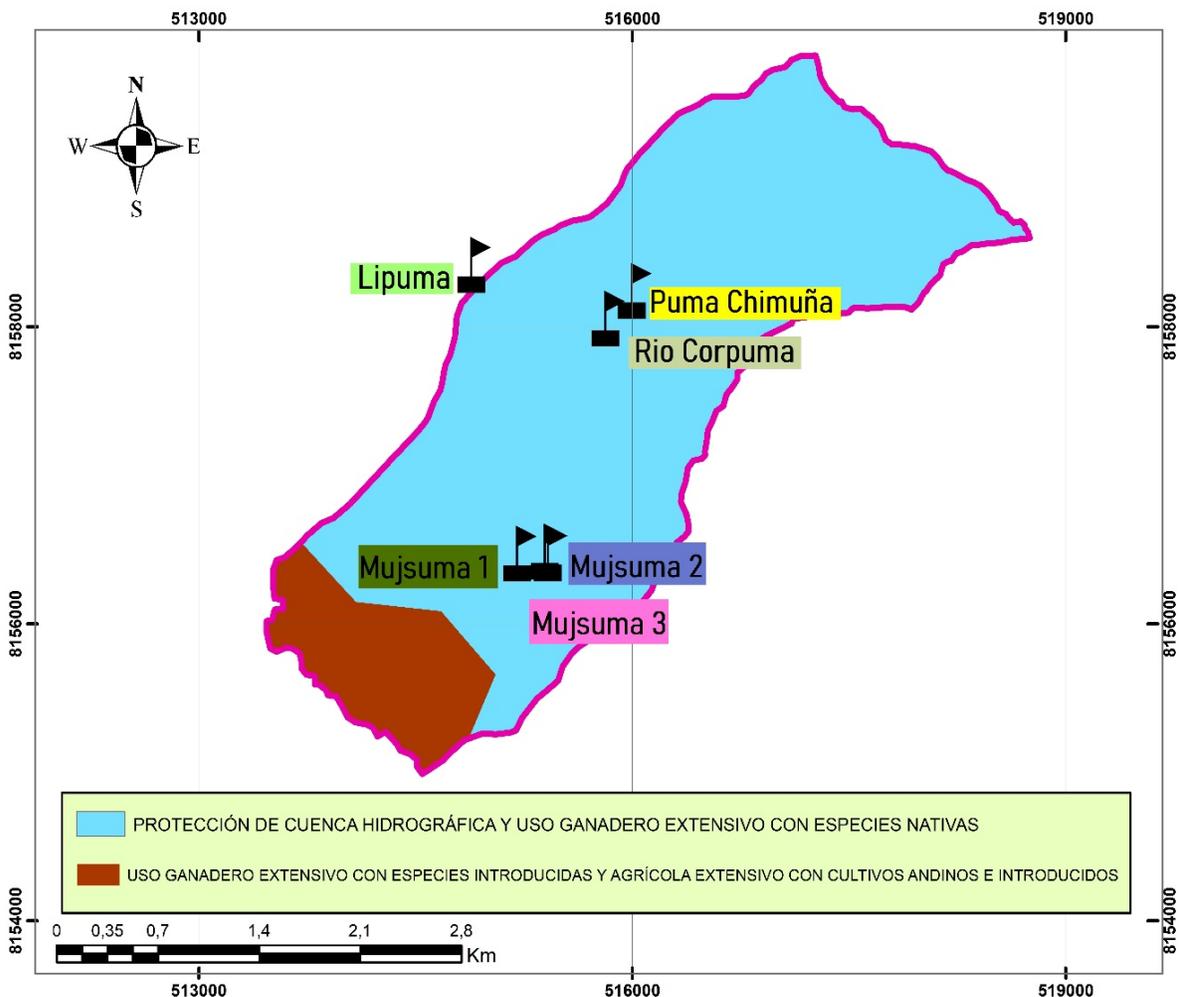
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Mapa de vegetación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Mapa de uso de suelos

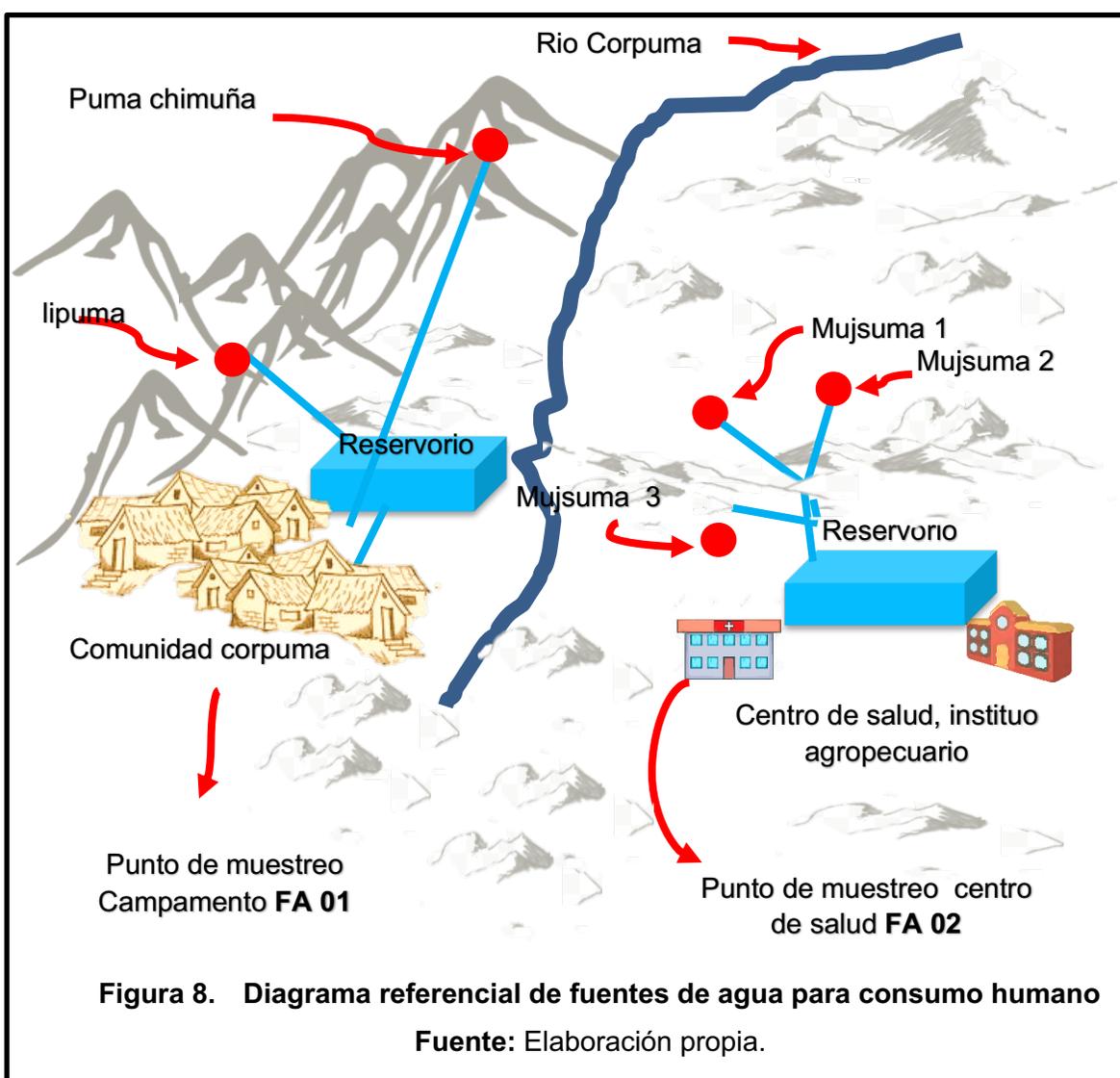


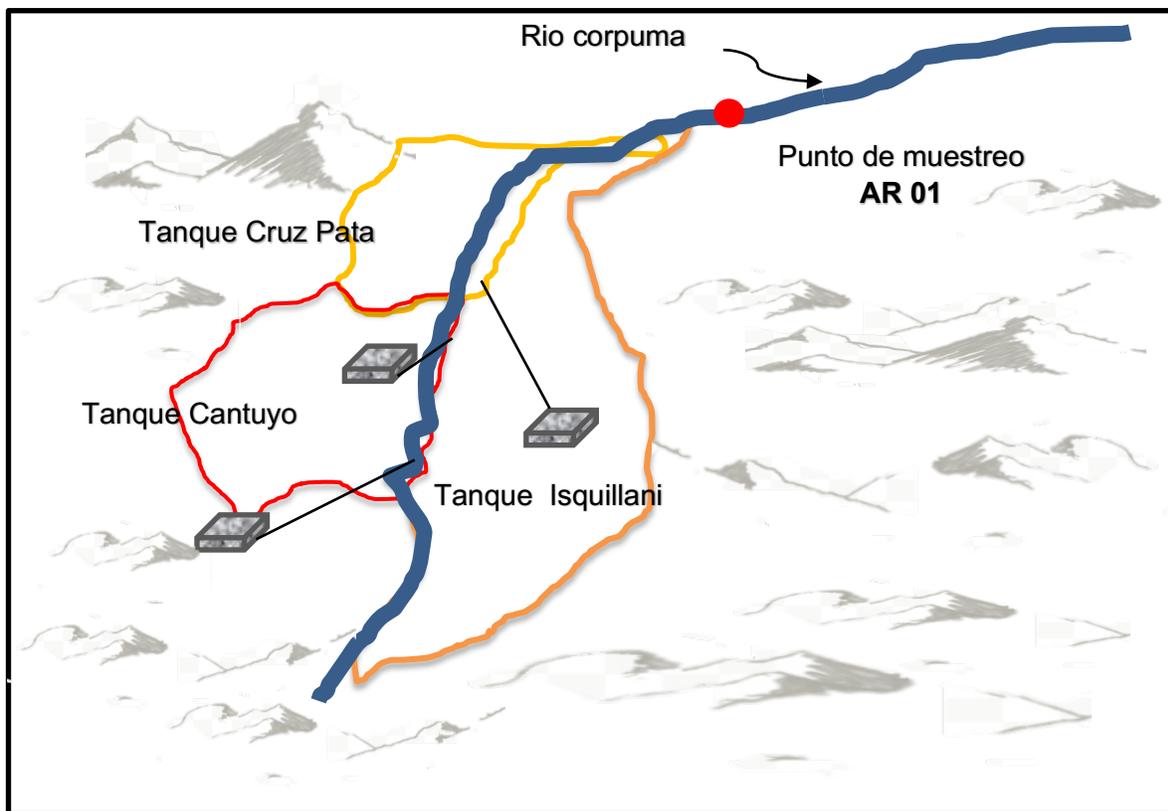
Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.1. Puntos de muestreo

Los puntos de muestro se determinaron conjuntamente con los comunarios de Corpuma, con el siguiente detalle:

- Lipuma y Puma chinuña abastecen a toda la comunidad excepto al centro de salud, instituto agropecuario (consumo humano).
- Mujsuma 1, Mujsuma 2, Mujsuma 3, que abastece al centro de salud e Instituto Agropecuario (consumo humano).
- Rio Corpuma fuente principal de riego en la comunidad.





**Figura 9. Diagrama referencial de fuentes de agua para riego**  
Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 13. Ubicación de puntos de muestreo en la comunidad de Corpuma.**

Código de identificación	Localización	Punto de muestreo	Temperatura °C	Ubicación geográfica en UTM	Altitud msnm
FA 01	Campamento	Grifo	15.5	X=514333 Y=8156255	3866
FA 02	Centro de salud	Grifo	16.8	X=514487 Y=8156117	3843
AR 01	Río Corpuma	Punto de aforo	13.4	X=515835 Y=8158055	4078

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Calidad de agua en el consumo humano.

Se evaluó la calidad de agua para el consumo humano con los parámetros adecuados en la NB-512, para ello se tomaron en cuenta cinco fuentes principales que se utilizan como abastecimiento de agua potable en comunidad Corpuma, de las cuales se obtuvieron dos muestras en época seca y dos en época húmeda (detallado en la figura 14).

#### 3.2.1. Parámetros físico-químicos

En base a los parámetros establecidos en la NB-512, se debe evaluar como mínimo 4 componentes como ser: El pH del agua que debe estar en un rango de 6,5 al 9,0, así mismo la conductividad debería ser 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como máximo, la turbiedad no debe sobrepasar las 5 UNT, y el cloro contenido en el agua se debe situar en un valor de entre 0,2 a 1,0.

La NB-512 también establece parámetros básicos para clasificar la calidad el agua, para esto se debe evaluar: el color, sabor y olor, los sólidos disueltos Alcalinidad, calcio, nitrato, dureza total, hierro, magnesio, manganeso, sodio, y por último el sulfato. Los resultados obtenidos por el Instituto de ingeniería Sanitaria y Ambiental (IIS), y el Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental fueron los siguientes:

**Cuadro 14. Comparación de parámetros físico-químico según la NB-512 en época seca y época húmeda.**

PARAMETROS	UNIDAD	EPOCA SECA		EPOCA HUMEDA		VALOR MAXIMO ACEPTABLE
		FA 01	FA 02	FA 01	FA 02	
<b>Mínimo</b>						
pH		7,88	7,8	7,07	7,51	6,5 – 9,0
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}^*$	665,5	520	1.074	782	1.500
Turbiedad	UNT	0,8	0,45	0,52	2,25	5
cloro	mg/l	----	----	----	----	0,2 – 1,0
<b>Básico</b>						
Color	UCV	1	1	2,5	7,5	15
Sabor y olor	aceptable					Deben ser aceptable
Sólidos disueltos	mg/l	447	348	976	614	1.000
Alcalinidad	mg/l	118,75	138,8	104	160	370
Calcio	mg/l	106,21	88,18	176,35	144,29	200

Nitrato	mg/l	0,56	3,5	2,34	7,04	45
Dureza total	mg/l	300	235	600	415	500
Hierro	mg/l	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	0,3
Magnesio	mg/l	8,54	3,66	38,88	13,36	150
Manganeso	mg/l	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	0,1
Sodio	mg/l	16,86	14,77	25,5	19,6	200
Sulfato	mg/l	194,26	106,7	439,1	215,64	400

**Fuente:** Elaboración con base a los resultados de laboratorio (UMSA-UMSS) y la NB-512.

- **Parámetros mínimos**

El pH en época seca alcanzo un valor máximo de 7,88 en la FA 01 y 7,8 en la FA 02, así mismo los resultados evidencian que en época húmeda decrecen a un 7,07 en la FA 01 y a 7,51 en la FA 02, si bien se sufre de variaciones en ambas épocas las muestras codificadas se encuentran dentro de los rangos establecidos en la NB-512 por lo que el pH es aceptable en las dos épocas.

La conductividad eléctrica fue de 665,5  $\mu\text{S/cm}$  en época seca, y 1.074  $\mu\text{S/cm}$  en época húmeda con respecto a la FA 01, y 520  $\mu\text{S/cm}$  en época seca y 782  $\mu\text{S/cm}$  en época húmeda en relación a la FA 02, si bien el valor más alto es el de la FA 01 en época húmeda, las dos muestras codificadas en ambas épocas no sobrepasan el valor máximo aceptable de 1500  $\mu\text{S/cm}$  por la NB-512, por lo que la conductividad eléctrica del agua en las dos muestras codificadas es aceptable.

En relación a la turbiedad se obtuvo un valor en la época seca de 0,8 UNT y 0,45 UNT en la FA 01 y FA 02 respectivamente, y en época húmeda 0,52 UNT en la FA 01 y 2,25 UNT en la FA 02, el valor máximo establecido en la NB-512 es de 5 UNT por lo que los valores obtenidos son aceptables para una calidad de agua óptima.

En el caso del cloro, tanto en época seca y en época húmeda en ambas muestras codificadas no existe resultado, lo que significa que el agua no se encuentra clorada, ya que como mínimo el agua debería contener un valor de 0,2 mg/l, por lo que el agua en ambas fuentes no es apta.

- **Parámetros básicos**

Dados los resultados, el color en relación a la FA 01 en época seca y húmeda son aceptables ya que su valor no sobrepasa los 15 UCV, al igual que la FA 02, por lo que se deduce que bajo este parámetro la calidad de agua es aceptable.

Los sólidos disueltos en época seca presentan indicadores bajos en relación al máximo aceptable en ambas fuentes, con 447 mg/l y 348 mg/l en la FA 01 y FA 02 respectivamente,

así mismo se pudo observar que en época húmeda estos resultados se incrementan a un 976 mg/l en la FA 01 y a 614 mg/l en la FA 02, si bien los indicadores en época húmeda son elevados, estos no sobrepasan el valor máximo aceptable que es de 1000 mg/l por lo que es aceptable.

La alcalinidad presenta un valor máximo en la FA 02 en época húmeda, con un valor de 160 mg/l, si bien ocurre esto el valor aun es aceptable ya que está por debajo del límite establecido en la NB-512.

El calcio y nitrato presentan valores óptimos en ambas fuentes, y en ambas épocas, ya que su valor se encuentra por debajo de los aceptables que son de 200 mg/l en el caso del calcio, y 45 mg/l en el caso del nitrato.

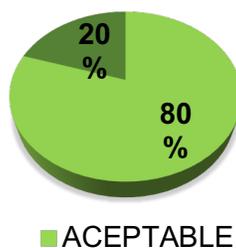
La dureza total del agua en época seca presenta valores óptimos y aceptables en ambas fuentes, pero en la época húmeda los valores se incrementan de un 300 mg/l a un 600 mg/l en el caso de la FA 01 y de un 235 mg/l a un 415 mg/l en la FA 02. El valor máximo aceptable es de 500 mg/l por lo que la FA 01 en época húmeda no es aceptable para el consumo humano. El hierro, el magnesio, el manganeso, y el sodio, presentaron valores muy por debajo de lo establecido en la NB-512, por lo que los cuatro componentes cumplen con los parámetros máximos permitidos.

Por último, el sulfato en época húmeda sobrepasa el valor máximo aceptable de 400 mg/l, en la muestra codificada FA 01, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos su valor es de 439,1 mg/l, por lo tanto, el agua no es apta para consumo en época húmeda.

En relación al sabor y olor se realizó una encuesta organoléptica.

#### **3.2.1.1. Encuesta organoléptica de sabor y olor del agua.**

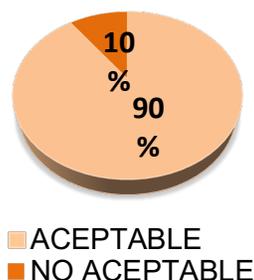
El 80 % de la población encuestada no presenta ningún inconveniente con el sabor del agua para consumo humano, por otra parte, el 20 % asegura que el sabor del agua es desagradable por lo que no acepta el sabor, llegando a la siguiente conclusión el sabor del agua es aceptable.



**Figura 10. Encuesta organoléptica del sabor del agua.**

**Fuente:** Elaboración propia.

Así mismo el 90 % de la población encuestada no tiene ningún inconveniente en el olor del agua para consumo humano, por el contrario, el 10 % no lo acepta o tiene algún inconveniente con el olor del agua, tal manera se concluye que el olor del agua es aceptable.



**Figura 11. Encuesta organoléptica del olor del agua.**

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.2. Parámetros bacteriológicos

Posteriormente se realizó estudios con respecto a los parámetros bacteriológicos, que también están establecidos en la NB.512, para esto se deben evaluar dos aspectos como ser: los coliformes totales y la Escherichia coli, y los valores máximos aceptables para estos parámetros son de 0 UFC/100 en ambos casos.

El siguiente cuadro evidencia los resultados obtenidos.

**Cuadro 15. Comparación de parámetros bacteriológicos según la NB-512 en distintas épocas.**

PARÁMETRO	UNIDAD	EPOCA SECA		EPOCA HUMEDA		VALOR MAXIMO ACEPTABLE
		FA O1	FA O2	FA O1	FA O2	
Coliformes totales	UFC/ ml	38	2	1000	600	0 UFC/100
Escherichia coli (E. coli)	UFC/ml	0	0	<1	<1	0 UFC/100

**Fuente:** Elaboración con base a los resultados de laboratorio (UMSA-UMSS) y NB-512.

En la época seca, se observa que existe la presencia de coliformes totales de la FA 01 con 38 UFC y 2 UFC en la FA 02, así mismo en la época húmeda existe una gran cantidad de 1000 UFC en la FA 01 y 600 UFC en la FA 02, ambas muestras codificadas sobre pasan el valor máximo aceptable por la NB-512.

En época seca no existe la presencia de Escherichia coli (E. coli) en ninguna de las muestras codificadas, excepto en la época húmeda que presenta una mínima cantidad de <1 UFC en ambas muestras codificadas.

Ambos parámetros dieron como resultado que las dos muestras codificadas FA 01 Y FA 02 presentan coliformes totales y Escherichia coli, en las dos épocas ya que ambas sobrepasan el máximo aceptable llegando a la conclusión de que el agua no es apta para consumo humano.

### 3.3. Calidad de agua para riego

La calidad de agua para riego se evaluó según los parámetros físicos-químicos de la calidad de agua para riego y las normas H. Greene FAO, Riverside y L.V. Wilcox, Los cuales se tomó en cuenta la única fuente para riego en comunidad Corpuma, de las cuales se obtuvieron una muestra en época seca (detallado en la figura 15).

#### 3.3.1. Resultado de análisis

$$\text{pH} = 8,29$$

$$\text{C.E. (ds/m)} = 0,702$$

Los resultados obtenidos por el centro de agua y saneamiento ambiental (UMSS) fueron en mg/l, dada las características de la investigación se requiere que los iones estén expresados en meq/l, por lo cual se procede a la conversión de los iones, mediante el siguiente método:

$$\frac{\text{Ion (mg/l)} * \text{Valencia}}{\text{Masa atomica}}$$

$$\frac{\text{Ca (106,2 mg/l)} * 2}{40,08} = 5,3 \text{ meq/l}$$

Posteriormente se realizó el mismo procedimiento para los iones, obteniendo los siguientes resultados:

**Cuadro 16. Resultados de parámetros físico-químico para riego.**

Cationes	Mg/l	Meq/l	Aniones	Mg/l	Meq/l
Calcio Ca <sup>+2</sup>	106,2	5,3	Bicarbonatos HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	106,4	1,7
Magnesio Mg <sup>+2</sup>	12,2	1	Carbonatos CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	<0,01	0,0
Sodio Na <sup>+</sup>	20,3	0,9	Nitrato NO <sup>-3</sup>	0.35	0,0
Potasio k <sup>+</sup>	1,4	0	Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	223,8	5
Σ Cationes = 7,2			Σ Aniones = 6,7		

**Fuente:** Elaboración con base a los resultados obtenidos por el laboratorio (UMSS).

### 3.3.2. Interpretación de análisis y clasificación de los principales parámetros físicos-químicos de calidad de agua para riego

#### 3.3.2.1. Riesgo de salinización

Se evaluó el riesgo de salinización mediante la determinación de la conductividad eléctrica (C.E.) del Rio Corpuma.

$$C. E. = 0,702 \text{ ds/m}$$

La Clasificación del agua para riego según su conductividad eléctrica (Cuadro 5.), el Rio Corpuma se clasifica como agua bajo en riesgo de salinización **no hay problema**.

#### 3.3.2.2. Dureza del agua

El grado de dureza permite clasificar el agua de riego en función del catión Ca<sup>+2</sup> y Mg<sup>+2</sup>.

$$\text{Dureza} = \frac{(\text{Ca}^{+2}) * 2,5 + (\text{Mg}^{+2}) * 4,12}{10}$$

$$\text{Dureza} = \frac{(5,3) * 2,5 + (1) * 4,12}{10} = 1,74 \text{ °F}$$

De acuerdo a la Clasificación de las aguas en función de los grados hidrométricos franceses (Cuadro 6), el Rio Corpuma se clasifica como agua **Muy Dulce**.

### 3.3.2.3. Problemas de permeabilidad

Se expresa mediante la relación de absorción de sodio (RAS), parámetro que se encuentra en el agua de riego. Mediante la presencia los iones de calcio y magnesio en el agua podremos determinar la relación que existe entre el sodio y el suelo.

$$R. A. S = \frac{Na^{+1}}{\sqrt{\frac{(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}}$$

$$R. A. S = \frac{0,9}{\sqrt{\frac{(5,3 + 1)}{2}}} = \frac{0,9}{1,77} = 0,53$$

De acuerdo a la Clasificación de aguas de riego según su relación de absorción de sodio (Cuadro 7), el agua del Rio Corpuma se encuentra con un riesgo de disminución de la permeabilidad BAJO.

### 3.3.2.4. Carbonato Sódico Residual (C.S.R.) o (índice de Eaton)

Predice la acción degradable del agua sobre las plantas y suelo.

$$C. R. S. = (CO_3^{-2}) + (HCO_3^{-1}) - (Ca^{+2}) - (Mg^{+2})$$

$$P. S. S. = (0) + (1,7) - (5,3) - (1) = 1,7 - 6,3 = -4,6 \text{ meq/l}$$

De acuerdo a la Clasificación de aguas de riego según su Carbonato Sódico Residual (Cuadro 8), el agua del rio Corpuma se clasifica como agua recomendable, agua **Buena**.

### 3.3.2.5. Porcentaje de Sodio Soluble (P.S.S.)

Es un indicador del peligro en la sodificación del suelo, Aguas con un valor de P.S.S. mayor al 60% pueden causar acumulaciones de sodio que destruir las propiedades físicas del suelo.

$$P. S. S. = \frac{Na^{+1} * 100}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+1} + K^{+1})}$$

$$P.S.S. = \frac{0,9 * 100}{(5,3 + 1 + 0,9 + 0)} = \frac{90}{7,2} = 12,5 \%$$

De acuerdo a la Clasificación de aguas de riego según el Porcentaje de Sodio Soluble (Cuadro 9), el Río Corpuma no presenta peligro de sodificación, **porcentaje de sodio soluble Buena.**

### 3.3.2.6. Porcentaje de Sodio Intercambiable (P.S.I.).

Esto permitir manejar técnicamente el riego de modo de atenuar el peligro de deterioro del suelo intercambiable, se lo relaciona con el RAS.

$$P.S.I. = \frac{R.A.S * 0.01}{1 + (R.A.S * 0.01)} * 100$$

$$P.S.I. = \frac{0,51 * 0.01}{1 + (0,51 * 0.01)} * 100 = \frac{0,0051}{1,0051} * 100 = 0,51$$

De acuerdo a la Clasificación de aguas de riego según el Porcentaje de Sodio Intercambiable (Cuadro 10), el riesgo en el Río Corpuma es **Bajo.**

### 3.3.2.7. Relación de calcio o índice de Kelly

El índice de Kelly determina el riesgo de alcalinización en el agua de riego.

$$I.K. = \frac{Ca^{+2}}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+1} + K^{+1})} * 100$$

$$I.K. = \frac{5,3}{(5,3 + 1 + 0,9 + 0)} * 100 = \frac{5,3}{7,2} * 100 = 73,6 \%$$

El índice de Kelly establece que aquellas aguas cuyo valor es superior a un 35% son buenas para su utilización en el riego. por lo tanto, el agua del Río Corpuma es **BUENA** para su utilización en el riego.

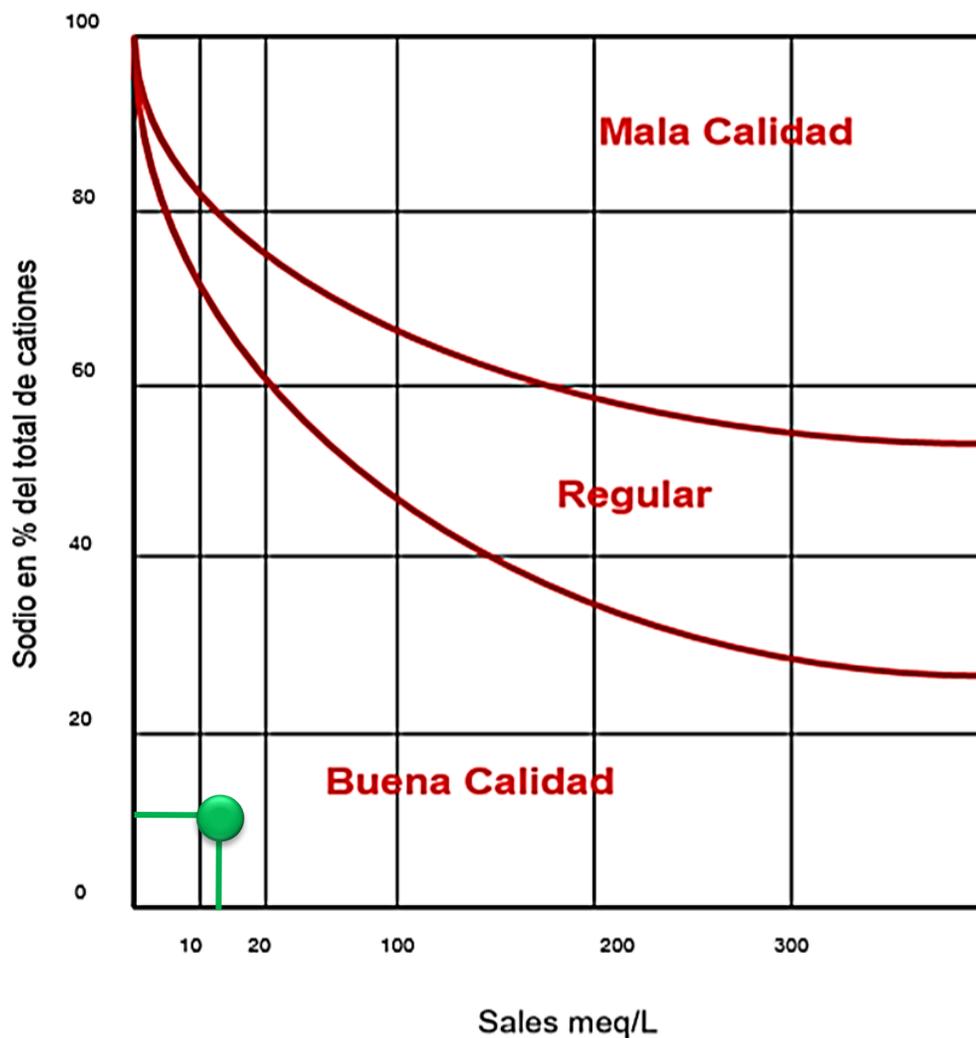
### 3.3.3. Interpretación y análisis de normas para la clasificación del agua en calidad para riego

#### 3.3.3.1. Norma H. Greene (F.A.O)

Toma como base la concentración total de sales en meq/l con la relación del porcentaje de sodio (este porcentaje se calcula respecto al contenido total de cationes expresados en meq/l).

$$\frac{\text{Na}^{+1}}{\sum \text{Cationes}} * 100 = \frac{0,9}{(5,3 + 1 + 0,9 + 0)} * 100 = \frac{0,9}{7,2} * 100 = 12,5 \%$$

$$\sum \text{Sales} = \sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones} = 7,2 + 6,7 = 13,9 \text{ meq/l}$$

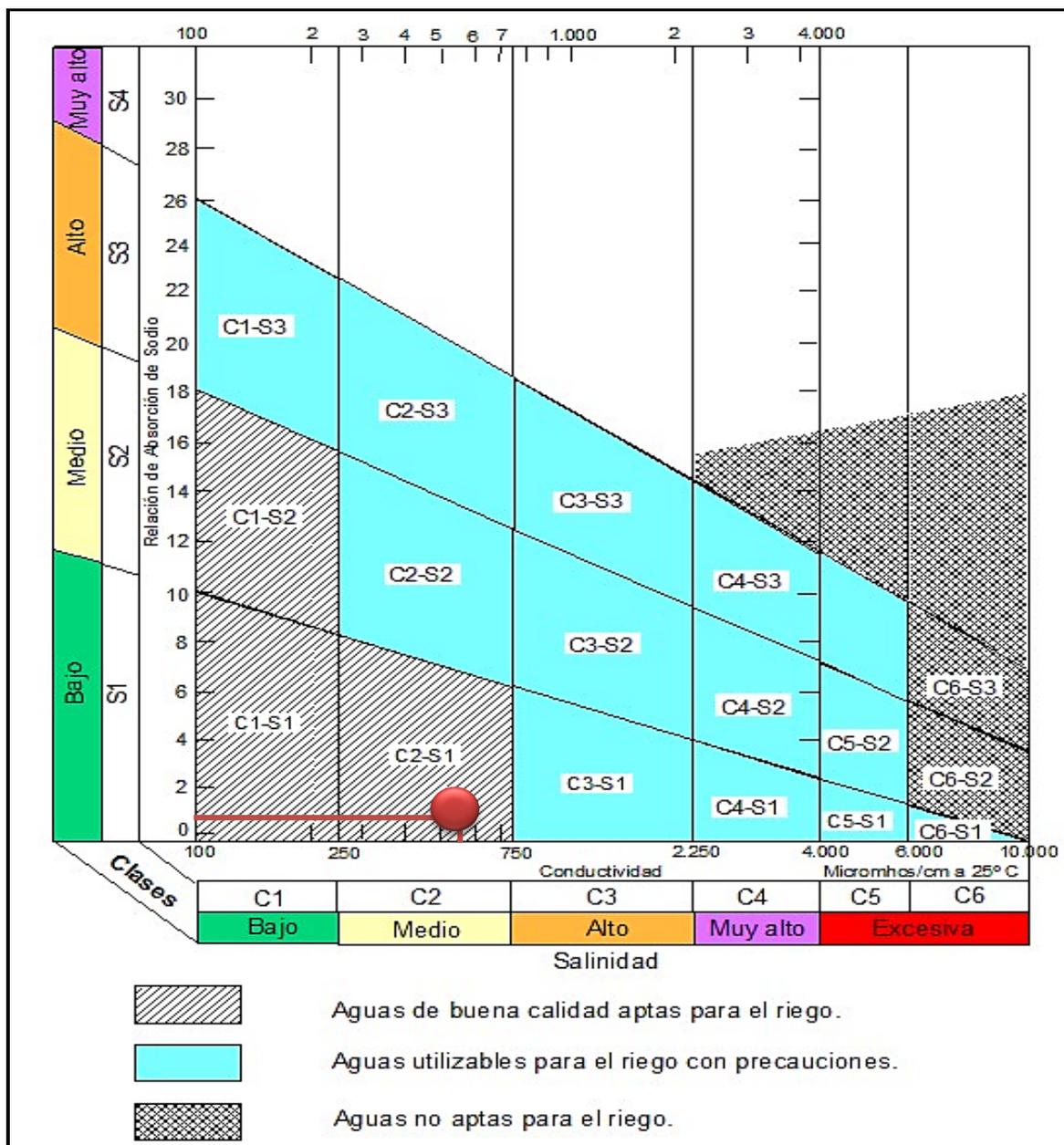


Según la Norma H. Greene (F.A.O) se establece que el agua del Rio Corpuma en la época seca corresponde como Agua en **BUENA CALIDAD**

**3.3.3.2. Norma Riverside**

La norma Riverside establece la clase de agua en función del riesgo de salinización mediante la (C.E) y alcalinización (R.A.S) que puede generar su uso, mediante dos categorías de clases de agua anunciadas con las letras C y S.

**C. E. = 0,702 ds/m      R. A. S = 0,53**

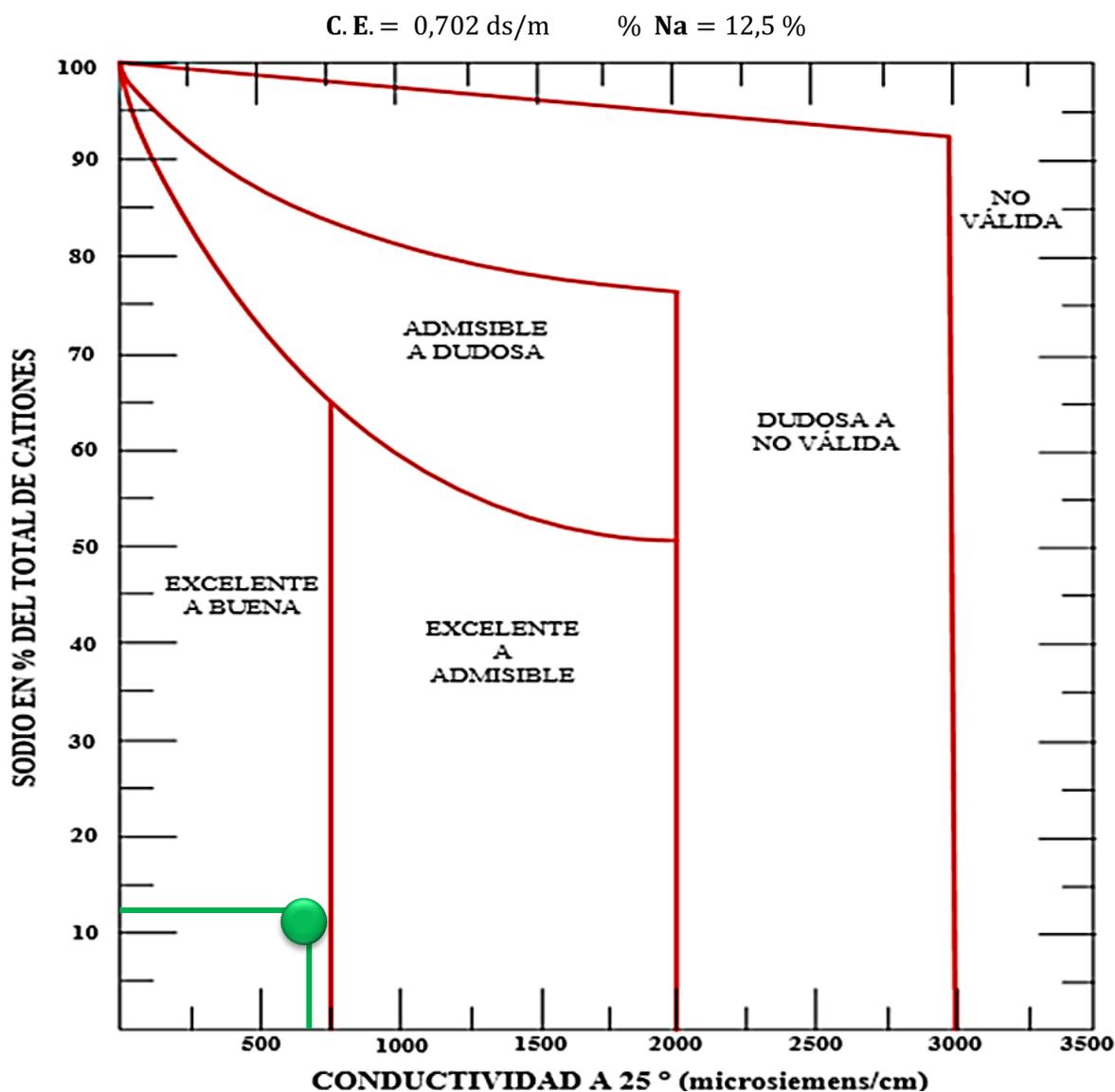


Según la norma Riverside se establece que el agua del Rio Corpuma en la época seca corresponde a una clase de agua **C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>**, **clasificada como agua buena para riego.**

**CLASE C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>**=Agua de salinidad media, bajo peligro de alcalinización. Puede ser utilizado con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a las sales, los cultivos sensibles como los frutales, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

### 3.3.3.3. Norma L.V. Wilcox

Se considera como índice para la clasificación de aguas en porcentaje de sodio respecto a los cationes y conductividad eléctrica.

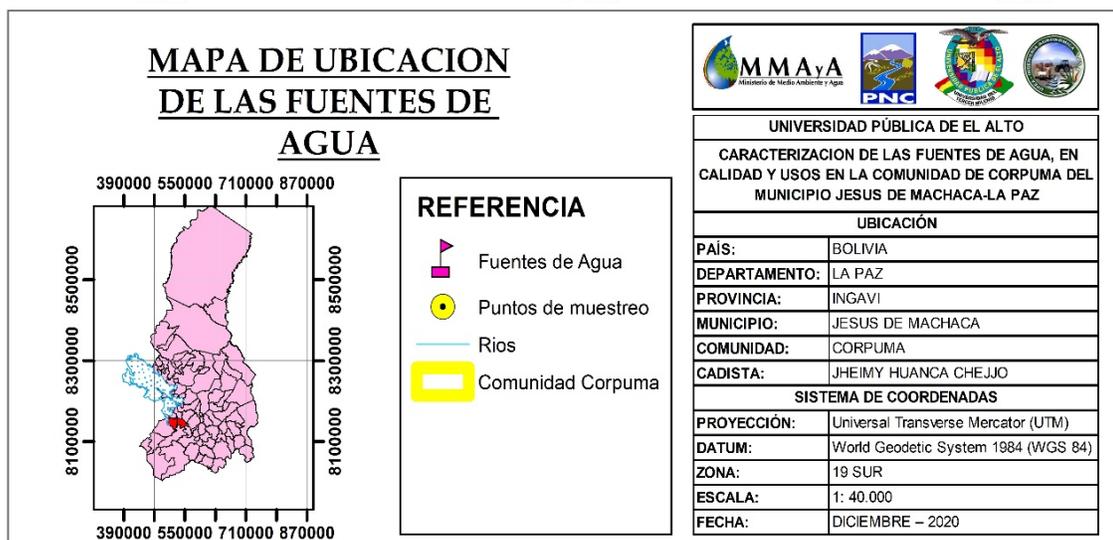
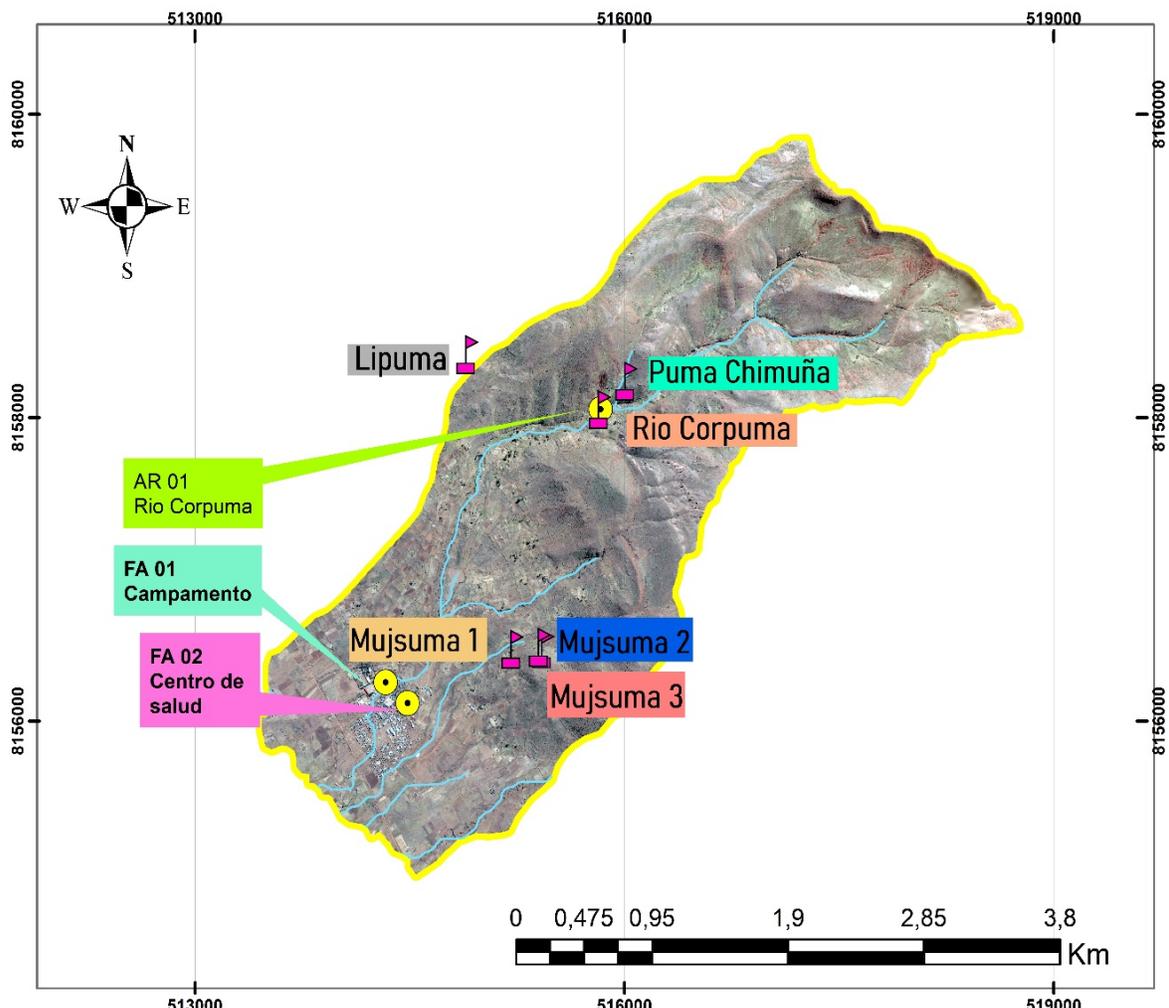


Según la Norma L.V. Wilcox se establece que el agua del Rio Corpuma en la época seca corresponde como agua **excelente a buena**.

#### **3.4. Mapas temáticos y ubicación de las fuentes de agua.**

- De acuerdo a la figura (18) realizada se ubicó las seis fuentes de agua con los respectivos muestreos, dos para consumo humano y uno para riego en la comunidad de Corpuma.
- Figura (19) se realizó mapa de calidad de agua en función a los parámetros físico-químicos de la FA 01, donde observamos las fuentes de agua que abastecen a la Comunidad, donde se obtuvo una muestra en ambas épocas.
- De acuerdo el Mapa de calidad de aguas en función a los parámetros físico-químicos de la FA 02 figura (20), se describe las fuentes de abastecimiento para el centro de salud e instituto agropecuario, donde obtuvimos una muestra en época seca y húmeda.
- Figura (21), Mapa de calidad de según los parámetros y normas de riego de AR 01, en este mapa ubicamos la fuente única de abastecimiento de la comunidad para riego de cultivos, donde se obtuvo una muestra en época seca.

Figura 12. Mapa de ubicación de las fuentes



Fuente: Elaboración propia.

#### 4. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente estudio, nos permite sustentar las siguientes conclusiones:

- Según cuadros 7-8-9-10-11-12, se identificó las seis fuentes agua respectivamente; Lipuma, Puma Chimuña, Mujsuma1, Mujsuma 2, Mujsuma 3 para consumo humano y Rio Corpuma para riego de cultivos. se encuentran entre la región del norte, en montañas fuertemente altas y bajas, con un promedio en; pendientes de 5 - >44 %, altitudes de 3956 - 4165 m.s.n.m., y con una agricultura de 2-30 % (papa, haba, quinua, cañahua, cebada y avena), ganadería de 1 - 10% (bovino, ovino), y 85-96 % en praderas nativas entre ellas; *festuca urundinacea*, *gnaphaliun bombeyanun*, *stipa ichu*, etc.).
- Según el cuadro 14 los parámetros físico-químicos de códigos, FA 01 y FA 02 en época seca y FA 02 en la época húmeda cumplen con los valores máximos aceptables según la norma boliviana 512 (NB-512), clasificando como agua apta para consumo humano. Así mismo se observa claramente que en la época húmeda la muestra codificada FA 01, sufre variaciones en relación a la dureza con 600 mg/l y sulfato con 439,1 mg/l, superando los valores máximos establecidos de 500 mg/l en dureza y 400 mg/l en sulfato, por ultimo las dos muestras codificadas no se encuentran cloradas en ninguna época, por lo que tampoco cumple con los valores máximos aceptables por la NB-412. Posteriormente en el cuadro 28 se observa que los parámetros bacteriológicos en la época seca y época húmeda de códigos FA 01 y FA 02 presentan coliformes totales de 38, 2, 1000 y 600 UFC/100ml, superando los valores máximos aceptables de 0 UFC/100ml por la norma boliviana (NB-512), de igual manera las muestras codificadas FA 01 y FA 02 en épocas seca no presentan *Escherichia coli* (*E. coli*), y en época húmeda presentan una mínima cantidad de <1 UFC/100ml superando los valores establecidos de 0 UFC/100ml ya que no cumplen con los valores máximos aceptables por la norma boliviana (NB-512), en conclusión las muestras de agua con códigos FA 01 y FA 02 no son aptas para consumo humano en parámetros físico-químicos y bacteriológicos ya que no cumplen con los valores establecidos por la norma boliviana (NB-512) en distintas épocas.
- Los parámetros principales físico-químicos; Riesgo de Salinización, Problemas de Permeabilidad, Dureza de agua, Carbonato Sódico Residual, Porcentaje de Sodio Soluble, Porcentaje de Sodio Intercambiable y Relación de Calcio indican que no existe, ni hay

problema para el uso del agua de riego agrícola. De acuerdo a las normas; H Greene (FAO), Riverside y L.V. Wilcox son clasificadas como agua buena para riego agrícola. Con todos los resultados obtenidos a partir de los parámetros físico-químicos y normas internacionales para la clasificación del agua, se llega a la conclusión que el agua es apta para riego en época seca, además utilizable para cualquier tipo de suelo.

- Según figura 12 se describen las seis fuentes de abastecimiento, en calidad de agua en función a los parámetros físico-químicos según la NB-512 para consumo, parámetros físico-químicos y normas para la clasificación de riego de cultivos y sus diferentes puntos de muestreo.