

## CAPÍTULO I

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación trata de seguir una metodología para identificar las zonas de mayor recarga hídrica natural dentro de una cuenca. Al identificar las principales zonas de recarga hídrica se pretende dar una herramienta de aporte para la reducción del deterioro de los recursos naturales causado por el uso de la tierra, ya que incentivará y promoverá el cuidado y la sostenibilidad de los recursos naturales. La alteración de uno de los recursos bosque, suelo y agua, repercute en la recarga hídrica debido a que están íntimamente relacionados, además son elementos importantes en la regulación del ciclo hidrológico, ayudan a mantener la productividad de los suelos, calidad del agua, la sostenibilidad del caudal a lo largo del año y la reducción de desastres naturales.

La cuenca es un espacio territorial privilegiado para la captación del agua de lluvia, que luego de un proceso de distribución y tratamiento, proporciona agua para el consumo humano, la agricultura, el mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas naturales. La cantidad de agua de un manantial está definida por la altura y cantidad de lluvia, el área de recarga y la permeabilidad del suelo, entre los factores más importantes. (Agrecol 2019).

“La recarga hídrica es un proceso que ocurre de forma natural, por el cual, se incorpora agua procedente de la infiltración de la lluvia, por aguas superficiales y por la transferencia entre acuíferos. El área donde ocurre este proceso se le llama zona de recarga hídrica”. (Agrecol 2019).

La recarga hídrica depende de la porosidad y permeabilidad de las rocas que conforman el suelo. El tipo de roca permitirá determinar si la recarga hídrica es subsuperficial o profunda de aguas subterráneas (acuífero). El tipo de suelo también influye. Si su textura es gruesa y porosa, es permeable, con gran capacidad de recarga hídrica. Si al contrario, es fina, arcillosa, pesada y compactada, impedirá o dificultará la recarga hídrica. Entonces, para caracterizar las zonas potenciales de recarga hídrica se debe

evaluar la permeabilidad del suelo y las rocas, en términos de su textura y capacidad de infiltración. (Agrecol 2019).

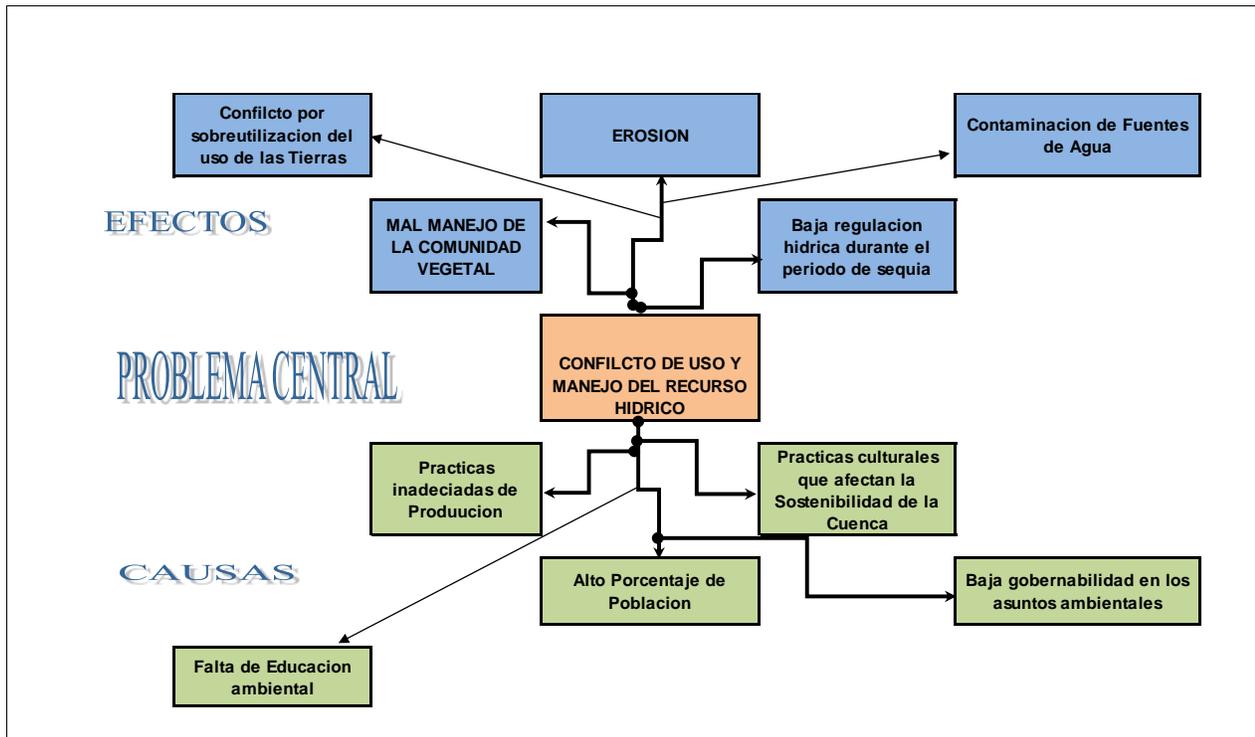
Existen diferentes metodologías para realizar la identificación de zonas de recarga hídrica que se basan en elementos cuantitativos y cualitativos. Para el presente estudio se utiliza la metodología participativa del CATIE con la finalidad de generar información certera del área de estudio.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La problemática que motivó esta investigación, partió del hecho que en la cuenca de Tolomosa, en muchas zonas de la parte media y baja de cuenca se han reducido y gran parte de la superficie en cobertura vegetal, expandiendo la frontera agrícola y urbanización, ocasionando la impermeabilización de la cuenca, reduciendo las áreas de recarga hídrica.

Evidentemente es una de las cuencas más estudiadas de la provincia cercado, en Tarija, pero no existen trabajos de investigación de recarga en la zona estudio con mapas temáticos sobre recarga, la posibilidad de generar cartografías de recarga hídrica, a través de las herramientas geomática, esta información geoespacial facilitara en la toma de decisiones correctas en las obras de planificación de manejo y restauración de la cuenca. Para eso se identificaron algunos efectos y causas que presenta la cuenca en un árbol de problemas.

Figura N° 1 Árbol de Problemas



Fuente: *Elaboración propia*

### 1.3.OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo General

Aportar al proceso de planificación e investigación de la cuenca del río Tolomosa, a través de la generación de información Geomática para el manejo de los recursos hídricos local, distinguiendo donde presenta un mejor aporte como recarga hídrica.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

Identificar las zonas de recarga hídrica potencial de la cuenca del Rio Tolomosa utilizando variables biofísicos espaciales.

Determinar el balance hídrico de la cuenca de Tolomosa, utilizando los datos Climáticos de WorldClim, empleando el teorema de Holdridge.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Hidrología

La hidrología es la disciplina científica que estudia las aguas del planeta, los océanos, la atmósfera y la superficie terrestre. Se interesa por las propiedades físicas, químicas y mecánicas de dichas aguas, así como por su distribución, circulación y su flujo a nivel regional y global. Sin embargo, no se ocupa las reservas subterráneas de agua, que corresponden a la hidrogeología. (Raffino M. 2020).

La hidrología es el estudio exhaustivo del agua en nuestro planeta, diferenciándose de la hidrografía, la cual se limita al estudio de la medida y recopilación de datos hidrológicos y su transcripción en un documento cartográfico. Si bien la hidrología posee un campo mucho más amplio de estudio, es posible en ciertos contextos utilizar ambos términos como sinónimos.

El concepto preciso de la hidrología ha cambiado enormemente a lo largo del paso del tiempo, pero a muy grandes rasgos puede comprenderse como la ciencia que estudia las dinámicas del agua en el planeta. (Raffino M. 2020).

#### 2.2. Ciclo Hidrológico

Según Chereque, (1989) el ciclo hidrológico es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y evaporación.

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

Se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub-

superficial, subterránea, etc.). (Chereque Moran W. 1989),

### **2.3. Los principales procesos implicados en el ciclo del agua son:**

#### **2.3.1. Evaporación**

El agua se evapora en la superficie oceánica, sobre la superficie terrestre y también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración en plantas y sudoración en animales. Los seres vivos, especialmente las plantas, contribuyen con un 10 % al agua que se incorpora a la atmósfera. En el mismo capítulo podemos situar la sublimación, cuantitativamente muy poco importante, que ocurre en la superficie helada de los glaciares o la banquisa. (Ayllón T. 1996).

#### **2.3.2. Condensación**

El agua en forma de vapor sube y se condensa formando las nubes, constituidas por agua en gotas minúsculas. (Ayllón T. 1996).

#### **2.3.3. Precipitación**

Se produce cuando las gotas de agua, que forman las nubes, se enfrían acelerándose la condensación y uniéndose las gotas de agua para formar gotas mayores que terminan por precipitarse a la superficie terrestre en razón a su mayor peso. La precipitación puede ser sólida (nieve o granizo) o líquida (lluvia). (Ayllón T. 1996).

#### **2.3.4. Infiltración**

.con raíces más o menos extensas y profundas. Otra parte se incorpora a los acuíferos, niveles que contienen agua estancada o circulante. Parte del agua subterránea alcanza la superficie allí donde los acuíferos, por las circunstancias topográficas, intersecan (es decir, cortan) la superficie del terreno.

#### **2.3.5. Escorrentía**

Este término se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno. En los climas no excepcionalmente secos,

incluidos la mayoría de los llamados desérticos, la esorrentía es el principal agente geológico de erosión y de transporte de sedimentos. (Barry, R. y Chorley, R. 1972).

### **2.3.6. Circulación subterránea**

Se produce a favor de la gravedad, como la esorrentía superficial, de la que se puede considerar una versión. Se presenta en dos modalidades:

Primero, la que se da en la zona vadosa, especialmente en rocas karstificadas, como son a menudo las calizas, y es una circulación siempre pendiente abajo.

Segundo, lo que ocurre en los acuíferos en forma de agua intersticial que llena los poros de una roca permeable, de la cual puede incluso remontar por fenómenos en los que intervienen la presión y la capilaridad. (Barry, R. y Chorley, R. 1972).

### **2.3.7. Fusión**

Este cambio de estado se produce cuando la nieve pasa a estado líquido al producirse el deshielo.

### **2.3.8. Solidificación**

Al disminuir la temperatura en el interior de una nube por debajo de 0 °C, el vapor de agua o el agua misma se congelan, precipitándose en forma de nieve o granizo, siendo la principal diferencia entre los dos conceptos que en el caso de la nieve se trata de una solidificación del agua de la nube que se presenta por lo general a baja altura. Al irse congelando la humedad y las pequeñas gotas de agua de la nube, se forman copos de nieve, cristales de hielo polimórficos (es decir, que adoptan numerosas formas visibles al microscopio), mientras que en el caso del granizo, es el ascenso rápido de las gotas de agua que forman una nube lo que da origen a la formación de hielo, el cual va formando el granizo y aumentando de tamaño con ese ascenso. Y cuando sobre la superficie del mar se produce una manga de agua (especie de tornado que se produce sobre la superficie del mar cuando está muy caldeada por el sol) este hielo se origina en el ascenso de agua por adherencia del vapor y agua al núcleo congelado de las grandes gotas de agua. El proceso se repite desde el inicio, consecutivamente por lo que nunca se termina, ni se agota el agua. (Farías M. 2005).

## 2.4. Cuenca hidrográfica

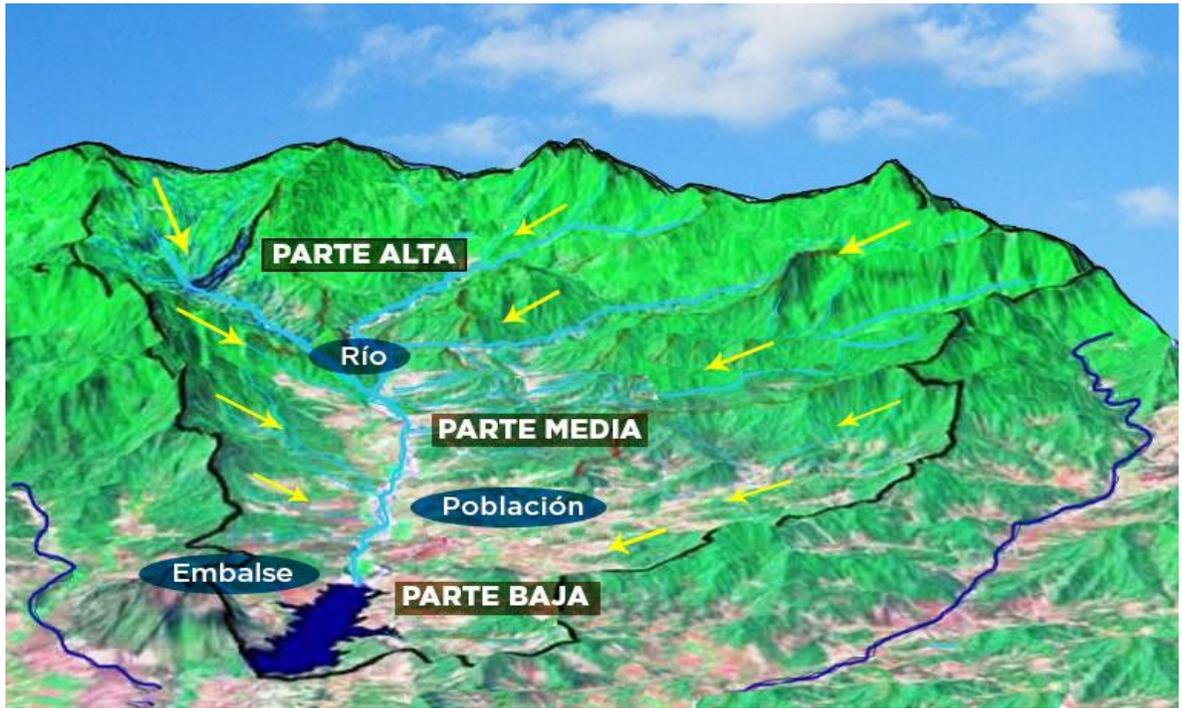
“La cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas”. La interdependencia de los elementos que constituyen la cuenca es evidente en muchos casos: la deforestación en el área receptora facilita la acción impermeabilizante de las gotas de lluvia y de la escorrentía, y el mayor escurrimiento superficial reduce el tiempo de concentración y aumenta el caudal máximo de crecida. La degradación de la cubierta vegetal reduce la infiltración y, por lo tanto, la capacidad reguladora del escurrimiento freático que alimenta los manantiales y los cursos de agua, provocando estiajes más acentuados. La acción erosiva de la escorrentía contribuye al incremento del transporte de sólidos, y al comportamiento torrencial de las cuencas de montaña, ocasionando la destrucción de las obras de infraestructura, poniendo en peligro los asentamientos humanos, y ocasionando el entarquinamiento (colmatación con cieno) de embalses, bocatomas y canales. (Botero, L. S. 1982)

Para Negret, R. (1982) “la cuenca hidrográfica es una unidad natural claramente delimitada por los divisores topográficos, y definida territorialmente por una superficie común de drenaje, donde interactúan los factores físicos, biológicos y humanos, para conformar un mega sistema socio–ecológico”.

López y Hernández (1972), definen la cuenca hidrográfica como “un área o superficie limitada por una línea o divisoria de aguas, dentro de la cual aparecen sistemas naturales, sociales y económicos, muy dinámicos e interrelacionados entre sí”.

Según la FAO, (1997) “la cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre.”

**Figura N° 2** La Cuenca Hidrográfica.



**Fuente:** *Adaptado de La cuenca hidrográfica como espacio y territorio, (2009).*

## 2.5. Tipos de cuencas

Según Ordoñez (2011), dentro de los términos que generalmente se utilizan, para definir e identificar los componentes que identifican las características de una cuenca tenemos:

- **Cuenca**

Sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas.

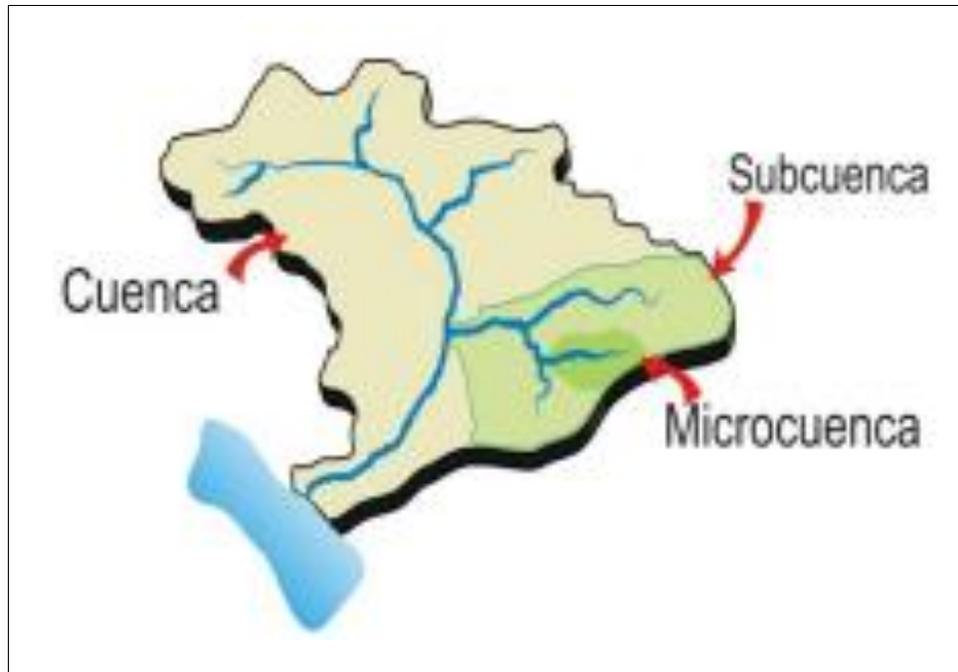
- **Subcuencas**

Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.

- **Microcuencas**

Una micro cuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; es decir, que una subcuenca está dividida en varias microcuencas.

**Figura N° 3** División de una cuenca hidrográfica.



**Fuente:** <https://images.app.goo.gl/rv4mbgwgsodhtpj48>

## 2.6. Zonas de recarga hídrica

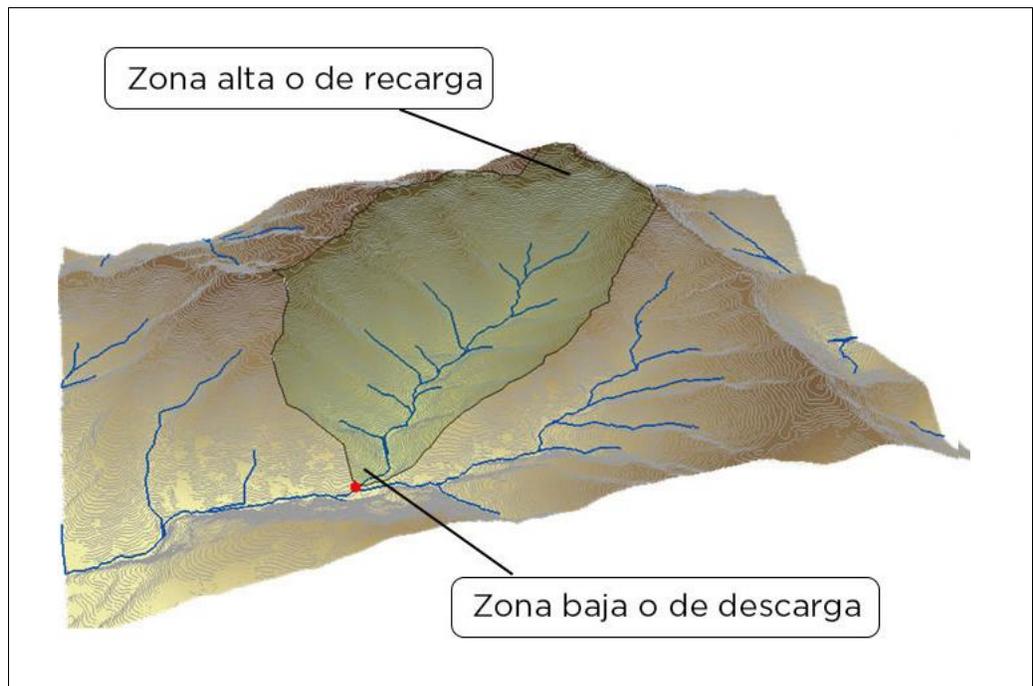
Se le llama recarga al proceso que ocurre de forma natural, por el cual, se incorpora agua procedente de la infiltración de la lluvia, por aguas superficiales y por la transparencia entre acuíferos. El área donde ocurre la recarga se le llama zona de recarga y por consiguiente son sitios con mayor capacidad de infiltración o con rocas superficialmente permeables (Matus S. 2009).

Hay zonas que por sus características, facilitan la infiltración y, ofrecen los mayores aportes de recarga hídrica y dentro de estas, aquellas que por sus particularidades específicas sean susceptibles de disminuir su potencial de recarga hídrica al ser sometidas a un manejo diferente a su capacidad de uso. A estas áreas se les denomina zonas críticas de recarga hídrica (Matus S. 2009). Por ejemplo, los ecosistemas forestales dentro del ciclo del agua desempeñan roles importantes, como es la infiltración. Los bosques, a su vez, contribuyen a preservar la estructura adecuada del suelo favoreciendo a que el agua de lluvia se infiltre durante el

invierno que servirá para mantener los caudales durante el verano, que serán provenientes de los mantos freáticos (IARNA, 2006).

Asimismo contribuyen a reducir la escorrentía proveniente de la precipitación debido a la intercepción que hay por la presencia de los árboles además que la capa de materia orgánica reduce el flujo de agua y favorece la infiltración. Además mejora la calidad del agua, debido a que los suelos forestales funcionan como filtros de agua; siendo las cuencas con mayor cobertura forestal las que presentan mejor calidad del agua (IARNA, 2006).

**Figura N° 4** Distribución de la zona de estudio de la cuenca



**Fuente:** *Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental, Biblioteca Virtual.*

### **2.6.1. Principales factores que afectan el régimen de agua subterránea**

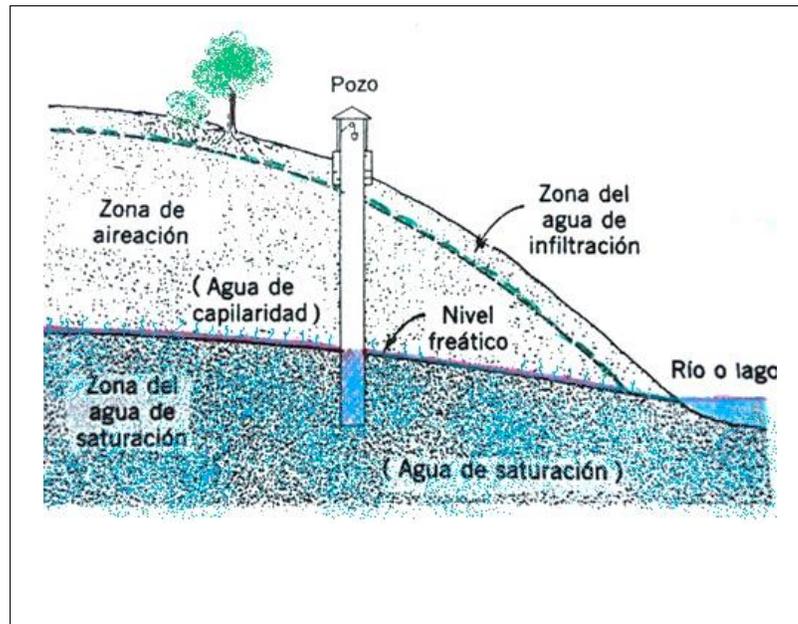
Son impresionantes las cantidades de agua expuestas en los ríos, lagos, océanos y glaciares de la superficie de la Tierra. Pero, bajo esa superficie, oculto a nuestros ojos, hay otro gran depósito de agua. Esta es la llamada agua subterránea.

Como sabemos, en muchos suelos el presupuesto hídrico presenta un substancial excedente que puede encaminarse de dos formas básicamente. La primera, resulta cuando el excedente de agua puede fluir por la superficie terrestre como agua de escorrentía. Segunda, el excedente hídrico puede, a través de la percolación del suelo y bajo el impulso de la gravedad, seguir una dirección hacia el interior para acabar formando parte del agua de saturación en el acuífero. Siguiendo la trayectoria del flujo subterráneo, esta agua emerge convirtiéndose entonces en agua superficial, o bien, puede emerger directamente en la línea de costa marina. (Strahler, & Strahler, 1986).

#### **2.6.1.1. Sistema de aguas subterráneas para una cuenca andina**

El agua del acuífero, también llamada de saturación, es aquella parte del agua subsuperficial que satura completamente las porosidades de la roca del suelo. El agua de saturación ocupa la zona del acuífero. Sobre ella se halla la zona de aireación en la cual el agua no satura completamente los poros. En la base de la zona de aireación se tiene a la franja de capilaridad, una delgada capa en la que el agua ha sido drenada por capilaridad hacia arriba desde el nivel freático. (Emmons; et al 1963)

**Figura N° 5** Zonas donde se encuentra el agua subsuperficial



**Fuente:** (Dibujo procedente de U.S. Geological Survey).

La verdadera situación del nivel freático se puede conocer mediante la altura estancada en un pozo perforado o excavado por debajo del mismo. Cuando los pozos son numerosos en una región, la posición del nivel freático puede ser cartografiada en detalle mediante el sondeo de las alturas de agua y observando al mismo tiempo las diferentes tendencias de elevación, como pueden ser colinas, divisorias de agua, pero descendiende en los valles, y demás depresiones donde suelen aparecer en cursos fluviales, lagos, marismas, etc. Las razones de tal configuración se explican porque el agua infiltrada a través de la zona de aireación tiende a elevar el nivel freático, mientras que la filtración en arroyos, lagos y marismas tiende a vaciar el acuífero y bajar de este modo su nivel. (Strahler, & Strahler, 1986).

El régimen de agua subterránea es variable y depende de factores tanto naturales como antrópicos, entre ellos tenemos:

### 2.6.1.2. Cantidad y tipo de precipitación

Generalmente la cantidad de agua que penetra en el suelo viene determinada por la cantidad y tipo de precipitación. Por ejemplo, en zonas desérticas el agua habitualmente está muy profunda y es poca la que se encuentra cerca de la superficie, porque hay poca lluvia. (Emmons; et al 1963)

**Figura N° 6** El nivel freático varía en los períodos húmedo y seco.



**Fuente:** (Dibujo procedente de U.S. Geological Survey). y recuadro al gráfico

### 2.6.1.3. Ritmo de precipitación

Cuanto más rápidamente cae la lluvia menos agua se sumerge en el suelo, pues la superficie se satura pronto. (Emmons; et al 1963)

### 2.6.1.4. Declive superficial

Cuanto más pronunciado es el declive, mayor cantidad de agua corre. Cuanto más llano es el suelo, mayor es la cantidad que penetra porque el agua tiene más tiempo para introducirse en el suelo. (Emmons; et al 1963)

### 2.6.1.5. Porosidad del suelo y rocas

La porosidad de una roca viene determinada por los huecos que contiene. Podemos distinguir entre porosidad primaria y porosidad secundaria; la primaria alude a los espacios existentes entre las partículas del material, es decir, los espacios entre los granos; la secundaria alude a los espacios por el fracturamiento o por la presencia de

planos de disolución dentro del material. Por ejemplo, la arcilla y la arena tienen porosidad primaria generalmente, pero un granito fracturado, y una caliza o un mármol, cuyos planos de debilidad han sufrido disolución, tienen porosidad secundaria. (Leet & Judson. 1998).

**Figura N° 7** Las diaclasas en una roca ígnea plutónica representarían la porosidad secundaria en amazonas



(Fuente: *Gidahatari*).

#### **2.6.1.6. Permeabilidad de rocas y suelo**

La permeabilidad es la capacidad de una formación rocosa para transmitir agua u otros fluidos, es una medida de la velocidad de penetración y es el ritmo al que una roca deja pasar el agua a través de ella, a una presión determinada. Una roca con gran porosidad no es, necesariamente, muy permeable. La permeabilidad varía con el grado de mezcla y con la disposición de los granos de material fino y grueso. (Strahler, & Strahler, 1986).

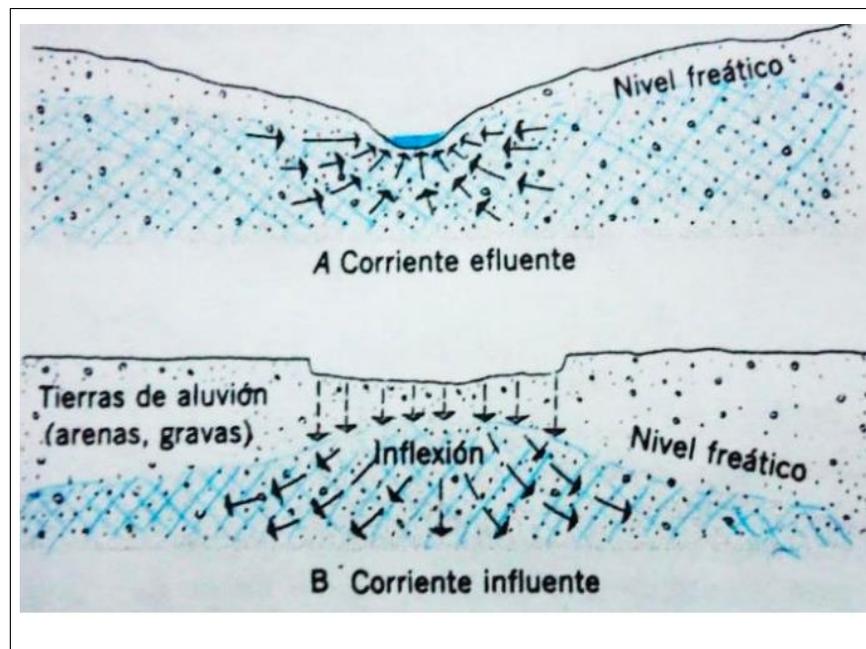
### 2.6.1.7. Cantidad y tipo de vegetación

Las plantas, y las materias orgánicas derivadas de las mismas, detienen el curso del agua superficial y, por lo tanto, más agua entra debajo. Los bosques y las praderas detienen las corrientes, retrasan la evaporación y aumentan la infiltración. (Strahler, & Strahler, 1986).

### 2.6.1.8. Corrientes efluentes y afluentes

Los cursos fluviales que circulan en regiones con clima seco y que fluyen sobre planicies cuyo substrato está formado por arenas y gravas, pierden su caudal por infiltración a lo largo de su lecho. Esta agua recarga el acuífero y este tipo de corriente se le conoce como influente. Al contrario, en regiones de clima húmedo donde el nivel freático es elevado y cuya agua se dirige hacia el cauce, el río recibe el agua de saturación denominada corriente efluente, descargando así agua del acuífero. (Leet & Judson. 1998).

**Figura N° 8** Corrientes efluentes e influentes.



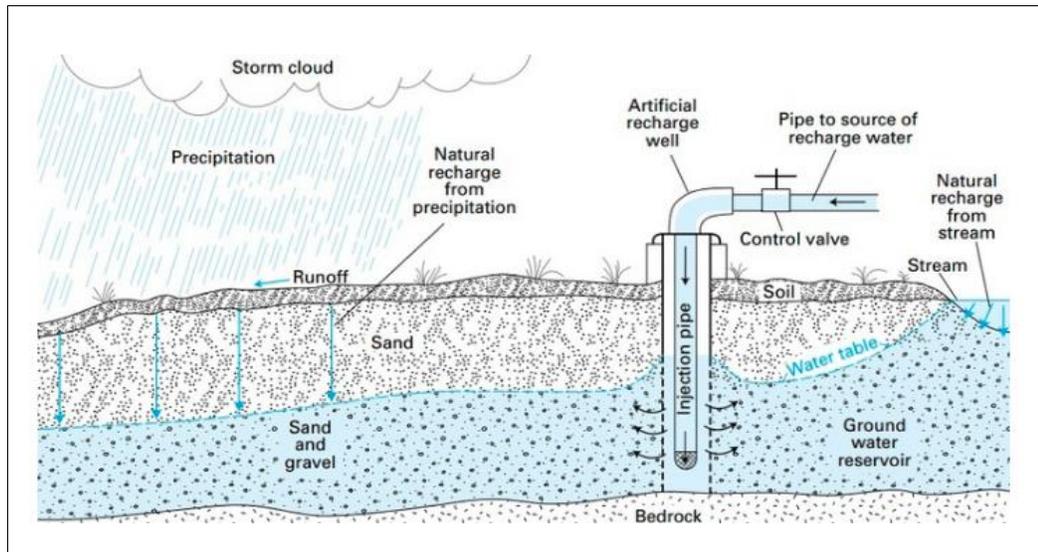
**Fuente:** (Dibujo procedente de U.S. Geological Survey).

### 2.6.1.9. Acción Antrópica

Todas las actividades humanas tienen cierto impacto en su medio ambiente, ya que puede alterar el régimen y calidad del agua de saturación ya sea extrayéndolo o recargándolo artificialmente.

La extracción del agua de saturación se realiza con la perforación de gran cantidad de pozos, cuya agua sustraída en grandes volúmenes a merced de las poderosas bombas, ha alterado profundamente el equilibrio natural de carga y descarga de los acuíferos. El aumento de la población urbana y el desarrollo industrial exigen un continuo aporte de agua subterránea. (Leet & Judson. 1998).

**Figura N° 9** Recarga artificial y natural de un acuífero.



**Fuente:** (Dibujo procedente de U.S. Geological Survey).

Son numerosos los factores que influyen en la recarga de agua subterránea, el conocimiento de estos procesos hidrogeológicos nos permitirá evaluar el total de los recursos de este valioso elemento con vistas a una planificación de uso y su protección ante una posible contaminación. (Leet & Judson. 1998).

### 2.6.2. Importancia de la recarga hídrica

El agua subterránea es sin duda el componente que constituye alrededor de dos terceras partes de los recursos de agua dulce en todo el mundo; además como

alimentan a lagos, pantanos, embalses y ríos representan el 3.5 por ciento y la humedad del suelo sólo el 1.5 por ciento del agua dulce (Chilton, 2001).

La importancia de dichas zonas empieza por el hecho de que constituyen parte del ciclo del agua, además de su aprovechamiento dentro del ámbito social y el mantenimiento del equilibrio ecológico, por lo anterior, es necesario proteger y mantener su calidad y cantidad del recurso hídrico, ya que, repercute en el bienestar de todo ser vivo (Longwood University, 2003). Además que los inventarios de aguas subterráneas y el uso de aguas superficiales revelan la importancia mundial que representan las aguas subterráneas y las razones incluyen: la disponibilidad de agua a largo plazo, calidad natural para suministro de agua potable y un servicio a bajo costo que favorece a regiones con ausencia de sistemas de abastecimiento de agua (Chilton, 2001).

### **2.6.3. Medidas de conservación para las zonas de recarga hídrica**

En la actualidad existen conflictos entre los usuarios del recurso hídrico, esto debido a que el desarrollo económico lleva consigo el cambio de uso de la tierra, la sobreexplotación de suelo, extracción de aguas subterráneas, contaminación, deforestación, construcción de pozos, entre otros. En consideración a esta tendencia de deterioro de estas zonas de recarga se establece lo siguiente para su adecuada administración, protección y conservación (Planning Commision Goverment of India, 2012):

- Gestión de zonas de protección de recarga hídrica;
- Regulación de zonas de protección de recarga hídrica;

### **2.6.4. Gestión de zonas de protección de recarga hídrica**

La gestión de zonas de protección debería ser delimitada según lo siguiente (Planning Commision Goverment of India, 2012):

1. Protección las zonas de recarga y descarga natural de amenazas como deterioro físico como el cambio de uso de la tierra, erosión, contaminación, etc.

2. Protección de aguas subterráneas de manera que cubra con las necesidades de ecosistemas dependientes.
3. Protección de zonas vulnerables que requieren atención especial y regulación por alteración química del agua.
4. Disposición de suministro de agua en cantidad y calidad bajo sistemas de manejo y sostenibilidad para cumplir con las necesidades de cualquier ser vivo.
5. Disponer agua para el desarrollo económico sostenible.

#### **2.6.5. Regulación de zonas de protección de recarga hídrica**

Es necesario involucrar a las autoridades competentes para la toma de medidas posibles para la conservación y protección de las zonas de protección de recarga hídrica en especial en la realización de planes de protección de aguas subterráneas (Planning Commission Government of India, 2012). Al establecer las zonas de protección se debería regular principalmente:

1. Extracción y aprovechamiento de aguas subterráneas;
2. Deforestación y forestación;
3. Eliminación de residuos de cualquier tipo;
4. Cambios de uso de la tierra y;
5. Prohibición de concesiones mineras.

De acuerdo con Planning Commission Government of India 2012 se deberán establecerse comités locales dedicados a supervisar, controlar y sancionar actividades que dentro de las zonas de protección de recarga no se dirijan a la conservación del recurso hídrico.

Asimismo, el enfoque legislativo servirá para complementar el mecanismo de control hacia las zonas de recarga hídrica a través de permisos, sanciones y la utilización coordinada de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Las autoridades tienen la responsabilidad de establecer lineamientos para la gestión del recurso

hídrico, uso de la tierra y el cuidado de la calidad y cantidad de agua para todos los ciudadanos. Pero corresponde a todos los ciudadanos ayudar a mantener el recurso hídrico y recursos naturales asociados en óptimas condiciones para un aprovechamiento efectivo y en beneficio de las generaciones presentes y futuras (Longwood University, 2003).

## **2.7. Balance Hídrico Superficial**

Para PLADEYRA (2003), la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

La ecuación de Balance Hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens P. 2003).

En general podemos afirmar que:

- Del agua que cae en un determinado sitio (**precipitación = PP**)
- Parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (**evapotranspiración = ET**);
- Otra parte escurre por la superficie de la cuenca (**escorrentía superficial = Esc**).

Este escurrimiento, fluye a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (**infiltración = I**).

Del Balance Hidrológico, podemos conocer el estado de humedad de la cuenca la cual está asociado al aporte de precipitación recibida y descontando las pérdidas generadas, estamos en la condición de clasificar el tipo de año (húmedo, normal o seco). (Llorens P. 2003).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Ubicación geográfica

La zona de estudio comprende la cuenca hidrográfica del río Tolomosa, ubicada al Sur de Bolivia, en el sector occidental del departamento de Tarija, provincia Cercado.

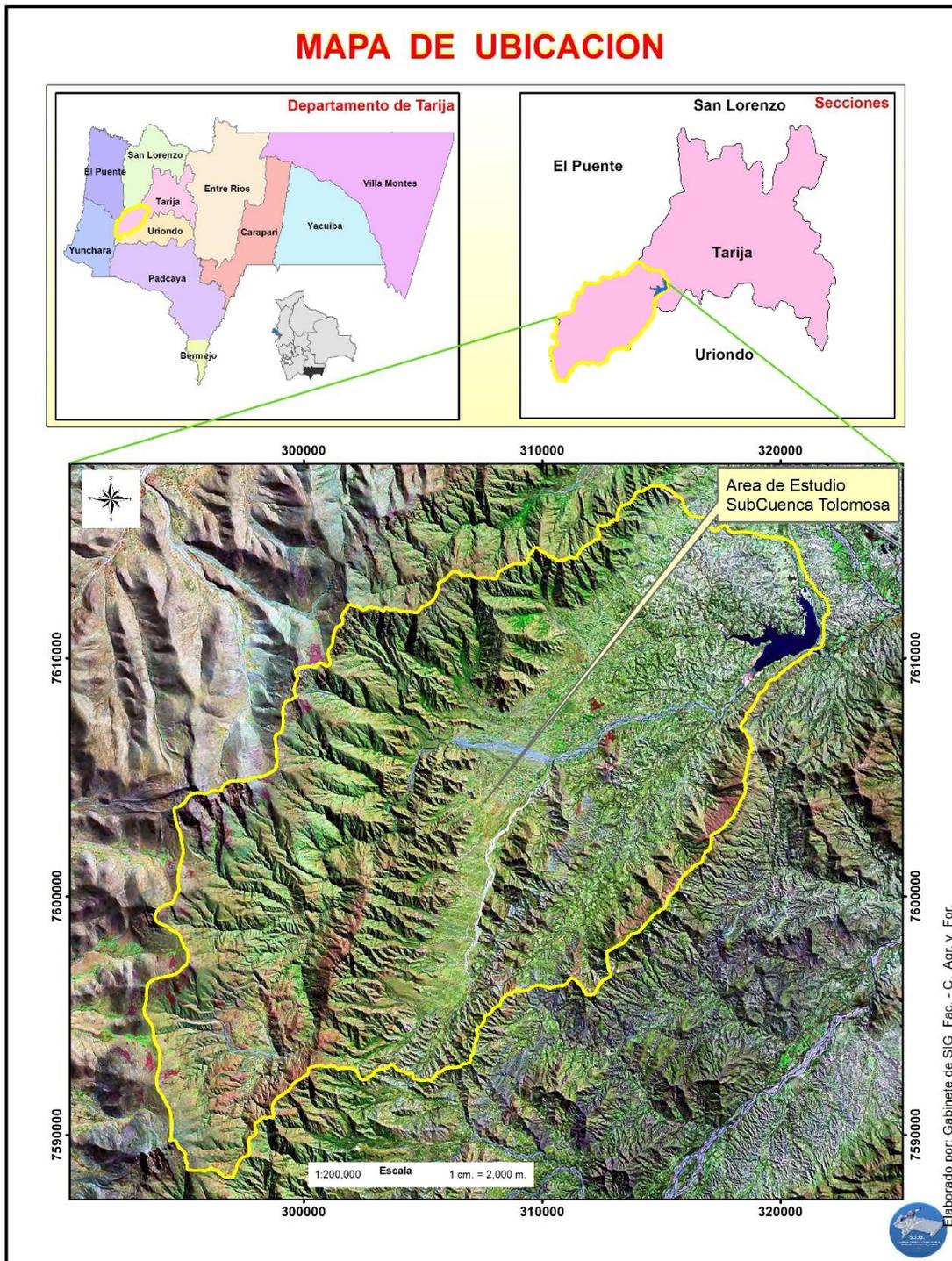
Es una de las cuencas que forman el Valle Central de Tarija, tiene una superficie de 43.672 ha de superficie aguas arriba del Embalse San Jacinto. Los puntos extremos de la cuenca tienen las siguientes coordenadas:

**Cuadro N° 1** Coordenadas de la Cuenca del río Tolomosa

PUNTO	UTM (m)	
	X_Coord	Y_Coord
E	322220	7612407
O	293364	7595507
N	314806	7617617
S	296971	7588494

**Fuente:** *Elaboración Propia*

Mapa N° 1 UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TOLOMOSA



### **3.1.2. Características generales de la Cuenca del río Tolomosa**

El relieve montañoso de la cuenca varía desde 4.614 msnm. en la cima del cerro Negro del Chismuri, hasta aproximadamente los 1.853 msnm. en el sitio del Embalse San Jacinto, determinando un gradiente altitudinal cerca de 2760 m, aspecto que influye en los procesos geomorfológicos, topoclimas, distribución de las lluvias, nubosidad, humedad ambiental, tipología de la vegetación y calidad de los suelos.

En las serranías del Oeste el clima es muy frío húmedo con precipitaciones de 800 a 1.000 mm aproximadamente; en el sector Nor-Oeste el clima es muy frío semihúmedo con precipitaciones de 800 a 900 mm, por su parte el sector central el clima es frío semihúmedo con precipitaciones alrededor de 800 a 1.000 mm. y el sector Este presenta un tipo climático templado semiárido con precipitaciones promedio que van desde los 700 a 900 mm. y temperatura media anual de 7 a 16,5° C. (ZONISIG, 2001).

La cuenca se localiza casi en su totalidad en la Cordillera Oriental, con un paisaje de montaña estructural alta con orientación casi Norte - Sur, relieve muy disectado, presentándose además paisajes de Serranías y colinas bajas estructural denudativas moderadamente disectadas a muy disectadas, Llanura de piedemonte con valles estrechos, abanicos y terrazas de ligeramente inclinados a muy inclinados, la llanura fluvio – lacustre representa el 25 % de la superficie total conformada por terrazas moderadamente disectadas a muy disectadas.

Por otro lado, casi todo el paisaje montañoso tiene protección legal, por cuanto forma parte de la Reserva Biológica Cordillera de Sama, situación que facilita las acciones de protección y conservación del agua, la biodiversidad y de los recursos naturales en general.

Del punto de vista hidrográfico, presenta una moderada a densa red de drenaje que conforman varias subcuencas con muchos recursos hídricos superficiales de calidad generalmente buena, que aportan sus aguas al embalse San Jacinto.

La ubicación geográfica y características ecológicas de la cuenca favorecen la presencia de especies vegetales de diferentes orígenes, de acuerdo con Cabrera 1971, la vegetación

de la cuenca del río Tolomosa, forma parte de los dominios fitogeográficos Andino, Chaqueño Amazónico a través de la Selva Tucumano-boliviana. La vegetación del dominio Andino está representada por los géneros *Polylepis* (Queñua), que se presenta dispersa en cañadones y valles menores, en algunos casos, formando pequeños bosques; *Eupatorium* (Thola) y *Baccharis sp.* formando arbustales de diferente cobertura en laderas montañosas y; pajonales de los géneros *Deyeuxia*, *Elyonurus*, *Stipa* y *Aristida* (Beck, Killen y García, 1993. Por su parte, la Selva Tucumano-boliviana está representado por los géneros *Alnus*, (Aliso), *Podocarpus* (Pino del cerro), *Miryca* (Aliso chato) y varias especies arbustivas mirtáceas formando parte de los bosques húmedos nublados o montanos y transicionales de la selva Tucumano boliviana a partir de los 2.050 a 2.800 msnm aproximadamente y el dominio Chaqueño está representado por especies como *Acacia caven* (churqui), *Prosopis alba* (Algarrobo blanco), formando matorrales localizados con algunos árboles emergentes en la zona de valle con altitud menor a los 2.200 msnm.

La fauna silvestre de la cuenca se caracteriza por la presencia de mamíferos entre ellos el venado andino (*Hippocamelus antisensis*), vicuña (*Vicugna vicugna*), viscacha (*LLagidium viscaccia*), gato andino (*Felis jacobita*), liebre, el zorro (*Canis sp.*), león y puma y otros. La fauna avícola se halla representada por el cóndor de los andes (*Vultur griphu*) y otras especies.

### **3.2. MATERIALES**

- ❖ Mapa Base.
- ❖ Cámara fotográfica.
- ❖ Material de escritorio (lapiceros, borrador, papel escritorio).
- ❖ Software ArcGis.
- ❖ Imágenes satelitales.
- ❖ Software Google Earth Pro.
- ❖ Software SAS PLANET.
- ❖ Hardware.

### 3.3. METODOLOGÍA

Existen diferentes metodologías para la identificación de zonas de recarga hídrica, las cuales pueden basarse en datos cualitativos o cuantitativos esto se define según las herramientas que se poseen y el área de estudio. Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó la base conceptual de la metodología participativa para la identificación de zonas de recarga del CATIE (2010).

Para la identificación de zonas de recarga hídrica el estudio se basa en la ecuación propuesta por Mathus Silva 2009 que considera cinco elementos con diferentes ponderaciones asignadas, siendo la siguiente:

$$ZR = 0.27 (Pend) \pm 0.23 (TS) \pm 0.12 (TR) \pm 0.25 (Cve) \pm 0.13 (US)$$

*Pend*: Pendiente y microrrelieve

*TS*: Tipo de suelo

*TR*: Tipo de roca

*CVE*: Cobertura vegetal permanente

*US*: Usos del suelo

Sin embargo, para el presente estudio la ecuación de Mathus fue modificada, ya que, para obtener la variable de “Tipo de suelo” es necesario realizar las pruebas de textura de suelo y pruebas de infiltración, esta última no se llevó a cabo durante la práctica. Por lo anterior, la variable “Tipo de suelo” se sustituyó por la variable “Textura del suelo” donde se tomara en cuenta los fundamentos teóricos del (CATIE 2010) que establecen que a partir de la textura del suelo se puede determinar el potencial de infiltración. Los cambios realizados harán referencia a identificar zonas potenciales de recarga hídrica y se presentarán de la siguiente forma:

$$ZR = 0.27 (Pendiente) \pm 0.23 (Textura de suelo) \pm 0.12 (Tipo de Roca) \pm 0.25 (Cobertura vegetal) \pm 0.13 (Uso de la tierra)$$

Dónde:

- **ZR** = Potencial de recarga.

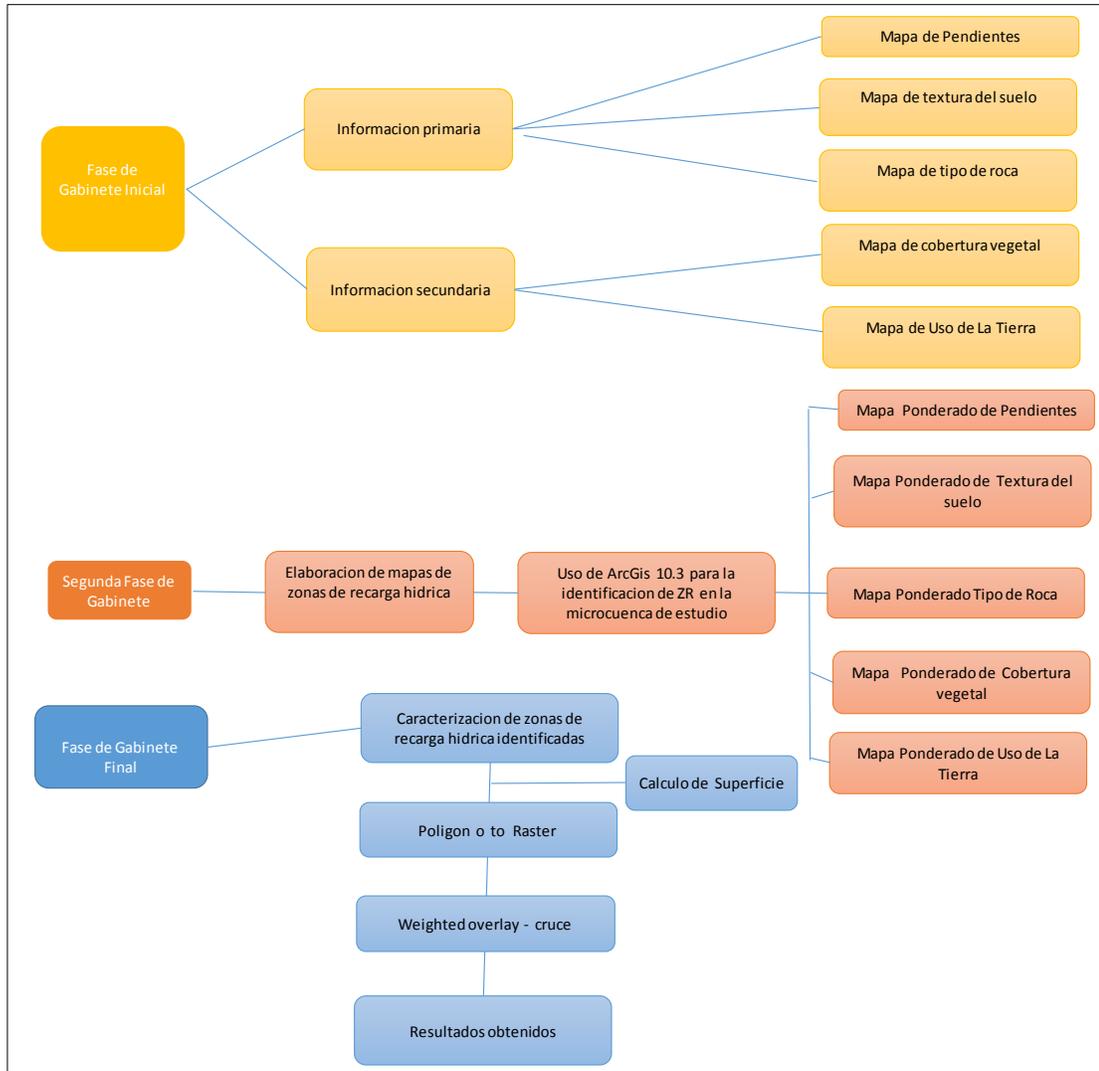
- **Pendiente** = Resultado obtenido a base del mapa de pendientes.
- **Textura de suelo** = A partir de la digitalización de la toma de muestras de suelo del área en estudio.
- **Geología** = A partir del mapa de hojas geológicas 1:50,000
- **Cobertura** = Resultado obtenido del % de suelo cubierto por vegetación permanente.
- **Uso de la tierra** = A partir de la digitalización del terreno a una escala de 1:10,000, con base en una ortofoto del área de estudio del 2020.

Esta ponderación 0.27, 0.23, 0.12, 0.25, 0.13 = Representan la importancia relativa de cada una de las variables en las variables de Matus esta con decimales, donde multiplicamos por 100 para hacerle entero y poder trabajar en el Weighted Overlay del Software de ArcGis 10.3

Sin embargo, se establece el procedimiento que se debe realizar en las pruebas de infiltración como guía para futuros trabajos de la misma índole. Por ello, el documento se dirige a la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica de forma rápida, practica y bajo condiciones de pocos recursos financieros y de tiempo disponibles.

Para la puesta en práctica de la metodología aplicada se llevaron a cabo las fases que se observan en la Figura N° 10.

**Figura N° 10** Esquema Metodológico adaptado, propuesto a seguir para la identificación y caracterización de la Zona de Recarga Hídrica (Basada en Matus, 2007).



**Fuente:** *Elaboración propia*

**a. Fase de gabinete inicial**

Se dividió en dos fases, información primaria y secundaria:

**a.1 - Información primaria.** - Es la primera fase del área de estudio comprende la delimitación de la cuenca y el procesamiento de datos se utilizaron las herramientas del software de ArcGis 10.3, con la finalidad de elaborar mapas preliminares de pendientes, tipo de suelo y tipo de roca.

**a.2 - Información secundaria.-** Se obtuvo los mapas de vegetación y uso actual de la tierra del Atlas ecotemático de la cuenca del río Tolomosa elaborado por el INIBREH, instituto interuniversitario Boliviano de recursos hídricos en el año 2011 como segunda edición.

**b. Segunda fase de gabinete**

**b.1 - Mapa de pendiente**

Para la elaboración del mapa de pendientes se utilizó el modelo de elevación digital descargada de la página <http://earthdata.nasa.gov> donde se descarga el área de la cuenca. Se utilizó el Software ArcGis 10.3 para el procesamiento de datos con un tamaño de pixel de 12.5 metros como unidad mínima de representación, siendo esta la de mejor resolución espacial en los modelos digitales de terreno para la generación de mapas de pendientes.

Después de clasificar el mapa de pendiente en función a los rangos propuestos por la metodología en clasificación de pendiente, se procedió a la codificación o ponderación de acuerdo a su posibilidad de recarga a través del cuadro N° 2.

Colocando como muy alto a pendientes de 0 – 6 siendo planos a casi plano y como muy bajo pendientes > a 65% estando con un relieve fuertemente escarpado se observa en la matriz del Cuadro 2.

**Cuadro N° 2** Relieve

<b>Relieve</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>	<b>Ponderación</b>
Suelo plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 - 6	Muy alta	5
Suelo moderadamente ondulado/cóncavo	6 - 15	Alta	4
Suelo ondulado/cóncavo	15 - 45	Moderada	3
Suelo escarpado	45 - 65	Baja	2
Suelo fuertemente escarpado	> 65	Muy baja	1

**Fuente:** CATIE, 2010

## **b.2 - Mapa de Textura**

Se procedió a la recolección de información secundaria de perfiles realizados dentro de la cuenca de Tolomosa en años anteriores por proyectos hechos en la zona como ser el proyecto de Zonisig con 21 perfiles, el proyecto Maca con 65 perfiles y el proyecto de Codetar con 50 perfiles levantados en la cuenca.

Siendo estos un total de 136 perfiles dentro de la cuenca distribuidos en sus diferentes tipos de suelos y para una mejor interpolación e interpretación y análisis se consideraron 360 perfiles alrededor de la cuenca para una interpolación más exacta, el procedimiento se utilizó con la herramienta de análisis Raster Interpolation con el Método Spline, planteadas para ArcGis 10.3. Con una resolución espacial de 12.5 metros.

Se codificó de acuerdo a su posibilidad de recarga mediante el cuadro N°3, teniendo como recarga muy alta a una textura con ponderación 5, compuesto por un suelo franco arenoso con y muy rápida capacidad de infiltración.y como recarga muy baja una textura con ponderación 1 con un suelo arcilloso que son de muy lenta capacidad de infiltración.

**Cuadro N° 3** Textura

Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelo franco arenoso, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios y muy rápida capacidad de infiltración.	Muy alta	5
Suelo franco, con partes iguales de arena, limo y arcilla y rápida capacidad de infiltración.	Alta	4
Suelo franco limoso, con partículas de tamaño medio a finas y moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración.	Moderada	3
Suelo franco arcilloso, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación y lenta a moderadamente Capacidad de infiltración.	Baja	2
Suelo arcilloso, muy pesados con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración.	Muy baja	1

**Fuente:** CATIE, 2010

### **b.3 - Mapa geológico o tipo de roca**

El mapa de tipo de roca se obtuvo por medio de la hoja geológica elaborada por GEOBOL a escala 1:50,000.

Se clasificó las características geológicas considerando el nivel de permeabilidad que presentan las formaciones, la clasificación se realizará en base a las categorías de la

matriz que presentan en el Cuadro 4 para la determinación de los valores ponderados de recarga hídrica del mapa geológico.

**Cuadro N° 4 Rocas**

<b>Rocas</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>	<b>Ponderación</b>
Rocas muy permeables, muy suaves, agregados gruesos, con macroporos interconectados (arena gruesa, piedra pómez, grava)	Muy alta	5
Rocas permeables, suaves, agregados medianos, con poros interconectados, con poca cementación (arena fina, arenisca)	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular interconexión de poros	Moderada	3
Rocas poco permeables, algo duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, (grava combinada con arcilla)	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	Muy Baja	1

**Fuente:** CATIE, 2010

**c. Fase de gabinete final**

**c.1 - Mapa de cobertura permanente**

El mapa de cobertura vegetal permanente ver: mapa N°5 Anexo N° 4, se refiere al porcentaje de suelo cubierto por dicha cobertura.

Para la determinación de la cobertura vegetal se delimitó las unidades de mapeo preliminar que son las áreas resultantes, se procedió a comprobar las unidades mediante inventarios de la composición florística de diferentes estudios realizados en las áreas, separándolas de acuerdo a sus clases de formaciones, obteniendo una base de datos georeferenciados para una interpretación, análisis y discusión obteniendo 27 unidades en la cuenca.

Los resultados obtenidos se ponderaron en base a la matriz presentada en el Cuadro 5 y se obtuvieron los valores para la aplicación de la ecuación general de zonas de recarga hídrica (Manchame, 2011).

Se realizó la codificación a partir del mapa de vegetación del Atlas eco temático de la cuenca de río Tolomosa, analizando la tabla de atributos se procedió a la recodificación de acuerdo a la cobertura permanente como también considerando su clase de formación: Bosque Denso, Bosque Ralo, Matorral, Matorral Enano, Vegetación Herbácea, y Cultivos.

**Cuadro N° 5** Cobertura permanente

Cobertura Permanente	Posibilidad de recarga	Ponderación
>80 %	Muy alta	5
70-80%	Alta	4
50-70%	Moderada	3
30-50%	Baja	2
<30%	Muy baja	1

**Fuente:** CATIE, 2010

## c.2 - Mapa Uso Actual de la Tierra

Según el Mapa N° 5, Anexo N°1 el uso actual de la tierra en la cuenca del río Tolomosa se ha identificado 20 unidades de uso, cuyas características principales se indican en la respectiva leyenda de uso de la tierra en los atributos o tabla del mapa, de acuerdo a la descripción del mapa se elaboró una leyenda preliminar con las principales categorías del uso de la tierra (agrícola, pecuario y forestal) a partir de la información secundaria existente y nivel de referencia de la cuenca. Se realizó la codificación a partir del mapa de uso actual de la tierra' del Atlas eco temático de la cuenca de río Tolomosa.

Los resultados obtenidos se ponderaron en base a la matriz presentada en el Cuadro 6 y se obtuvieron los valores para la aplicación de la ecuación general de zonas de recarga hídrica (Manchame, 2011). Posibilidad de recarga de uso actual.

**Cuadro N° 6** Uso de la tierra

Uso de la tierra	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque que presenta los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados, obras de conservación de suelo	Regular	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

**Fuente:** CATIE, 2010

Una vez se obtuvieron todos los valores ponderados para cada variable, se procedió a la aplicación de la ecuación modificada para la determinación del potencial de zonas de recarga hídrica:  $ZR = 27$  (*Pendiente*)  $\pm 23$  (*Textura de suelo*)  $\pm 12$  (*Tipo de Roca*)  $\pm 25$  (*Cobertura vegetal*)  $\pm 13$  (*Uso de suelo*)

Los resultados que se obtuvieron para cada unidad de mapeo resultante fueron comparados y reclasificados en base al Cuadro 7.

**Cuadro N° 7** Matriz para la determinación del potencial de recarga hídrica.

Posibilidad de recarga	Valor resultante
Muy alta	4.01 – 5.00
Alta	3.01 – 4.00
Moderada	2.01 – 3.00
Baja	1.01 – 2.00
Muy Baja	0.00 – 1.00

**Fuente:** *Matus, 2009*

De la aplicación del Cuadro 7 se obtuvo como resultado el mapa de zonas potenciales de recarga hídrica de la Cuenca bajo estudio mediante la superposición de las unidades de mapeo: textura del suelo, usos de la tierra (a través de la cobertura vegetal), geología y pendiente, utilizando Arc Gis 10.3.

### **3.4. DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO POTENCIAL:**

#### **A. Definir área de estudio: crear polígono.**

Para definir el área de estudio es necesario crear un polígono del área de estudio para apreciar mejor la zona o cuenca en estudio y definir ciertas características de selección de proyección de zona en el Software, caso Tarija UTM Zona 20 Sur

La descarga de datos climáticos para este caso es climáticas mediante el programa ArcGIS y apreciarlo lo mejor posible.

## B. Descarga de datos del programa Wordclim 2-0

La descarga es importante ya que estos datos nos ayudaran a encontrar nuestras variables mencionadas anteriormente.

Estos son los datos climáticos de WorldClim versión 2.0 para 1970-2000, esta versión fue lanzada en enero de 2020.

Hay datos climáticos mensuales para temperatura mínima, media y máxima, precipitación, radiación solar, velocidad del viento, presión de vapor de agua y precipitación total. En el cuadro siguiente se puede observar las variables bioclimáticas.

**Cuadro N° 8** variables "bioclimáticas"

Variable	10 minutes	30 segundos
Temperatura mínima (°C)	<a href="#">10m</a>	<a href="#">30s</a>
Temperatura máxima (°C)	<a href="#">10m</a>	<a href="#">30s</a>
Temperatura media (°C)	<a href="#">10m</a>	<a href="#">30s</a>
precipitación (mm)	<a href="#">10m</a>	<a href="#">30s</a>

**Fuente:** (Fick, S.E. y R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2)

Los datos están disponibles en las cuatro resoluciones espaciales, entre 30 segundos equivale (1 km<sup>2</sup>) a 10 minutos equivale (340 km<sup>2</sup>). Cada descarga es un archivo "zip" que contiene 12 archivos GeoTiff (.tif), uno para cada mes del año (enero es 1; diciembre es 12). (Fick, S.E. y R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2).

## C. Método Holdridge

De este método conocemos elementos de las precipitaciones, que constituyen el punto de partida, y las temperaturas, a partir de las cuales podemos calcular indirectamente la evaporación. Con estos parámetros conocidos podemos estimar la porción de agua

escurrida y sus variaciones estacionales, y también del agua infiltrada o en tránsito en el suelo.

Se copia las variables de precipitación de todos sus meses, se corta al área de la cuenca y se suma en Raster Calculator de ArcToolbox.

$$PP_{med} = \frac{pp1+pp2+pp3+pp4+pp5+pp6+pp7+pp8+pp9+pp10+pp11+pp12}{12} = \text{Mapa PPmedia}$$

De la misma manera se hace con Temperatura y se corta al área de la cuenca para obtener los datos de temperatura sacando la media de Temperatura con Raster Calculator.

$$T_{med} = \frac{t1 + t2 + t3 + t4 + t5 + t6 + t7 + t8 + t9 + t10 + t11 + t12}{12} = \text{Mapa Tmedia}$$

La fórmula para determinar la evapotranspiración potencial en milímetros:

$$ETp = (58,93 * Temp\ Biologica\ media)$$

Para llegar a un ETP mensual se divide la constante de Holdridge  $58,93 / 12 = 4,91$

Fuente: Holdridge, L. R. 1987.

Se multiplica la temperatura mensual por el factor constante del teorema del holdridge 4,91

$$\begin{aligned} ETP_1 &= t_1 * 4,91 \\ ETP_2 &= t_2 * 4,91 \\ &+ \\ &+ \\ &+ \\ ETP_{12} &= t_{12} * 4,91 \end{aligned}$$

$$ETP_{med} = \frac{Etp1 + Etp2 + Etp3 + Etp4 + Etp5 + Etp6 + Etp7 + Etp8 + Etp9 + Etp10 + Etp11 + Etp12}{12} = \text{Mapa } ETP_{media}$$

#### **D. Determinación del balance hídrico:**

Se determina el balance hídrico, una vez tomado los datos de la evapotranspiración potencial mediante el método de Holdridge se toma en cuenta la precipitación de cada mes desde enero a diciembre obteniendo el mapa de Precipitación media.

La fórmula para determinar el balance hídrico es:

$$BH = (P_{med} - ETP_{med})$$

**P:** Precipitación de acuerdo al mes (enero a diciembre)

**ETP:** Evapotranspiración potencial de acuerdo al mes (enero a diciembre).

**BH:** Balance Hídrico

Rango:	Exceso Hídrico	> 1
	Estabilidad Hídrica	= 1
	Déficit Hídrico	< 1

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4. GENERACIÓN DE MAPAS**

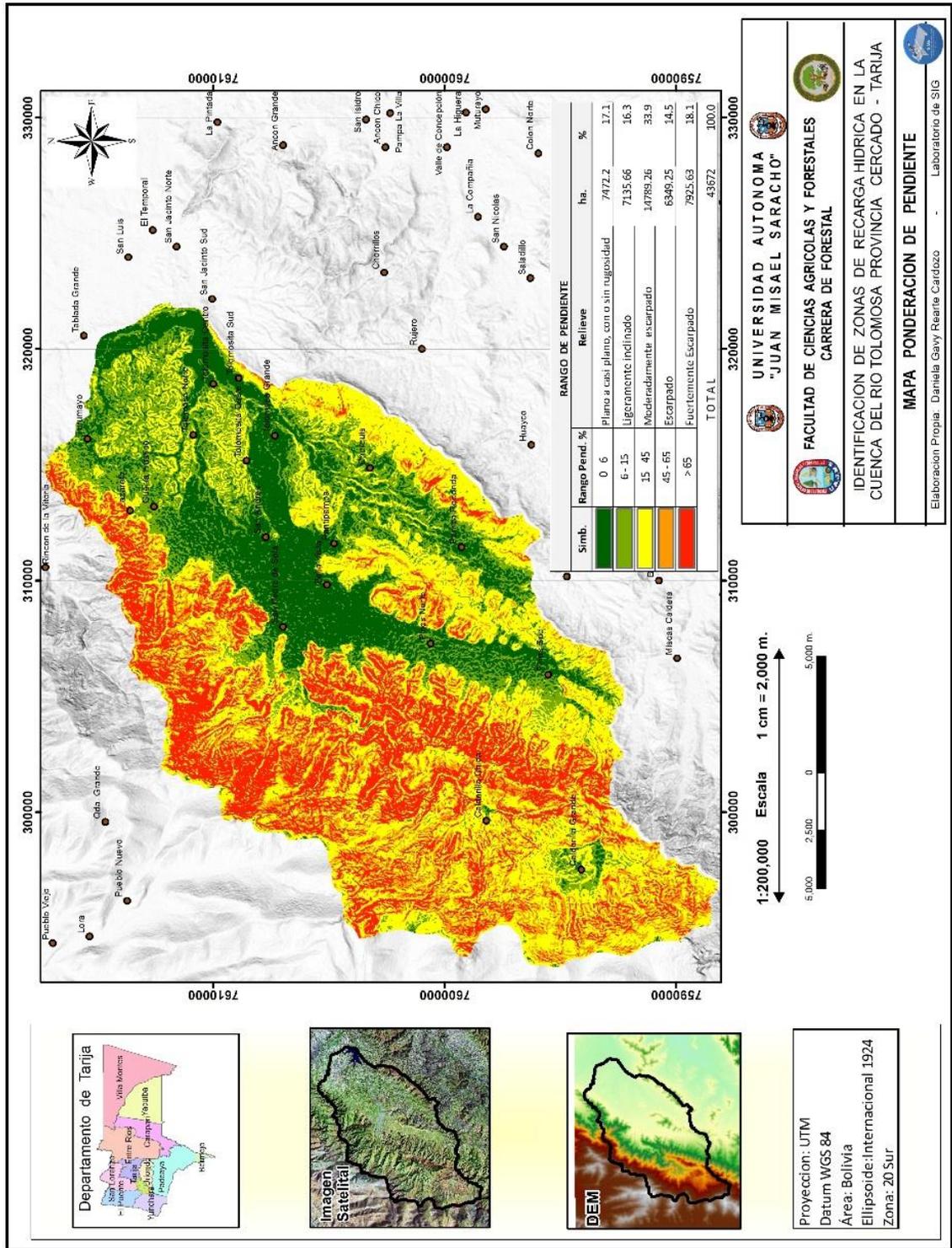
De acuerdo a la metodología de Matus Silva, describimos los mapas biofísicos de acuerdo a su potencial de recarga hídrica, los mapas elaborados descritos son:

***(Pendiente) (Textura de suelo) (Tipo de Roca) (Cobertura vegetal)  
(Uso de suelo)***

#### **MAPA DE PENDIENTE**

Es importante representar gráficamente las pendientes porque ayudan a caracterizar el relieve a través de la individualización de las diferentes configuraciones topográficas, tiene mucha influencia en los procesos morfodinámicos del paisaje como: estabilidad de laderas, movimientos en masa, drenaje natural del suelo, velocidad y capacidad de transporte del agua, procesos de acumulación de material no consolidado producto de la meteorización, procesos de formación y de erosión, determina el uso actual y potencial del suelo. (*Soil Survey Manual y otros autores*), mediante la siguiente clasificación de las clases de pendiente de acuerdo a los rangos definidos en relación a las características del relieve.

# Mapa N° 2 PENDIENTE



Fuente: elaboración propia

- **Recarga muy alta, rango 0 - 6 %**

Corresponde a las pendientes menores < 6 % relieves planos a casi planos y relieves de 2 – 5 % relieves ligeramente inclinados o ligeramente ondulados, ocupan 7472.2 ha. haciendo el 17.1 % de la cuenca, se presentan en algunas terrazas aluviales y algunos piedemontes, esta clase de pendientes puede favorecer procesos de erosión, especialmente cuando se tiene poca cobertura vegetal y suelos susceptibles a procesos erosivos

- **Recarga alta, rango 6 - 15 %**

Se presentan pendientes de 6 - 15% que llegan a formar pendientes con un relieve inclinado fuertemente inclinado u ondulado y fuertemente ondulado, ocupan 7135.66 ha que hacen el 16.3%, se encuentran principalmente en piedemontes, llanura fluvio-lacustre y en paisajes de terrazas fluvio-glaciares, valles y piedemontes coluvio-aluviales, donde se puede observar problemas de erosión hídrica que posteriormente se convierten en cárcavas

- **Recarga moderada, rango 15 - 45 %**

Corresponde a una pendiente de 15 – 45 %, con un relieve moderadamente escarpado, forma parte de las terrazas fluvio-glacial alta, laderas moderadamente disectadas de las serranías y colinas bajas y las terrazas muy disectadas de la llanura fluvio-lacustre, tienen una superficie de 14789.26 ha que hacen el 33.9%, por lo general esta clase de pendientes tiene relieves con varios tipos de remoción en masa y fenómenos de erosión hídrica, cárcavas en paisajes con rocas blandas.

- **Recarga baja, rango 45 - 60 %**

Tiene una pendiente de 45 – 60 % corresponde a un relieve escarpado que coincide en gran parte con el paisaje de laderas moderadamente disectadas a muy disectadas de las serranías y colinas bajas de la cuenca, su superficie es de 6349.25 ha haciendo el 14.5 %, en paisajes con esta clase de pendiente son más frecuentes a los movimientos en masa lentos y rápidos como deslizamientos y terracetos, como así también los procesos de erosión hídrica laminar y cárcavas.

- **Recarga muy baja, rango > 60 %**

Consta de pendientes mayores a > 60 %, con relieves muy escarpadas, este tipo de pendientes llega a ser el más extenso de la cuenca, ocupa la superficie de 7925.63 ha que hacen el 18.1% caracteriza a todas las laderas del paisaje de montaña estructural alta, este tipo de paisaje presentaría todas las condiciones para diferentes procesos de movimientos en masa rápidos y procesos de erosión hídrica, sin embargo, solo presenta algunos deslizamientos, desprendimientos y caída de materiales y localmente, donde existe pastoreo extensivo permanente, se presentan procesos intensos de erosión hídrica laminar.

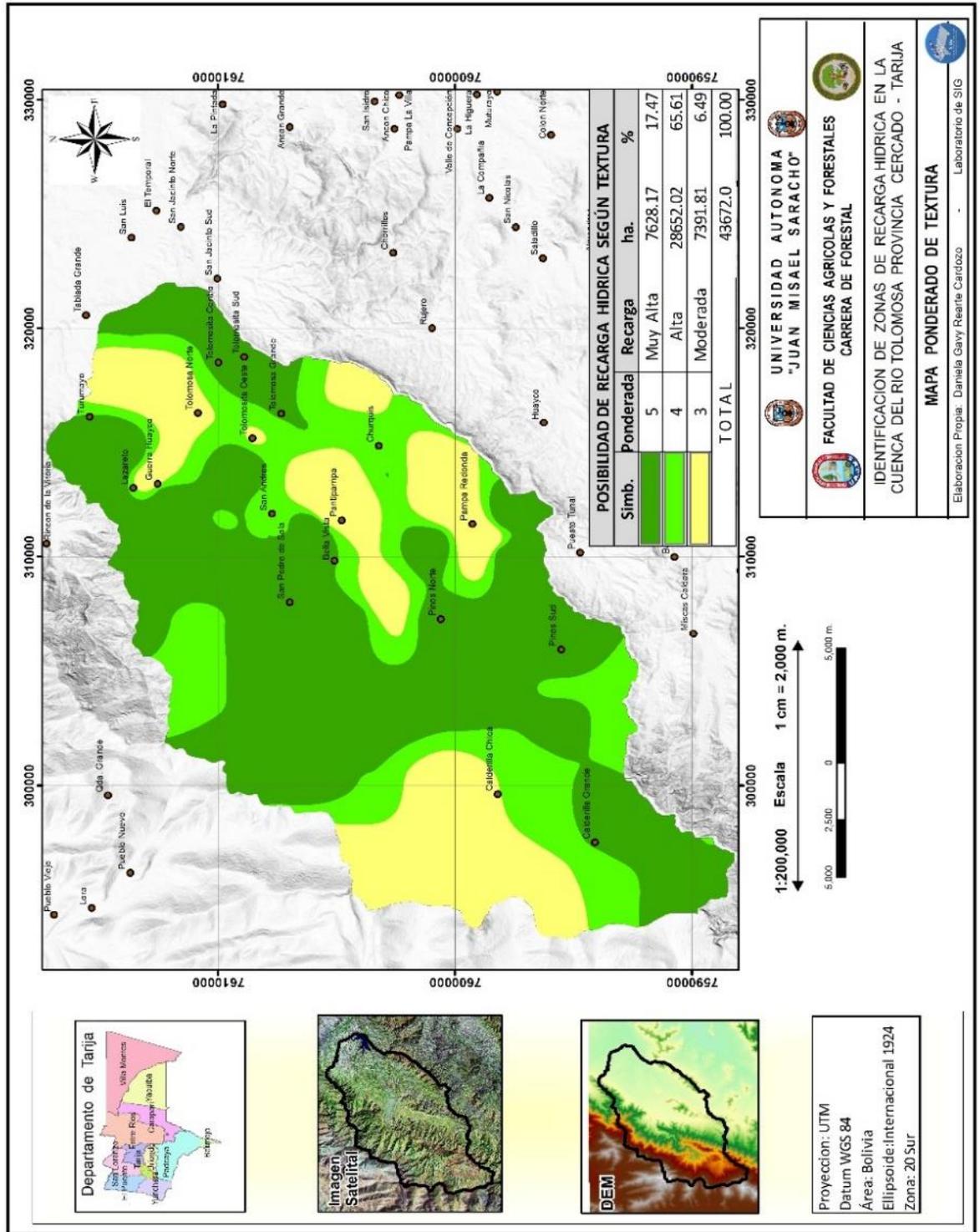
### **MAPA DE TEXTURA – TIPO DE SUELO**

El suelo está compuesto por tres partículas minerales de distintos tamaños: arena, limo y arcilla. A su vez, la arena se compone de partículas minerales gruesas, el limo de partículas minerales finas y la arcilla, de partículas minerales muy finas, la combinación de estas partículas en distintas proporciones forman la textura.

Conocer el tipo de suelo con el que se trabaja es imprescindible. De su textura dependen sus propiedades físicas, las cuales determinan, en gran medida, su productividad, permeabilidad y retención de agua.

Estas unidades de mapeo en textura se encuentran distribuidos en la cuenca de Tolomosa, asociados geográficamente, por razones prácticas de representación cartográfica se los agrupa en diferentes Rangos propuestos por Matus S.

# Mapa N° 3 TEXTURA- TIPO DE SUELO



Fuente: elaboración propia

#### **Rango 5 - 4**

Se localizan en el ambiente morfogénico denominado montaña estructural alta, localizada al Oeste de las comunidades de Pinos Norte y Sud, San Andrés, Guerraguayco y laderas que se encuentran alrededor de la comunidad de Pinos Norte. Se localizan también en la pendiente media e inferior de la serranía de Sama, en los cañadones alargados y angostos en forma de U que son parte del piedemonte del río Sola en la ladera Este del cerro Filo Grande (al Oeste de Pinos Norte y Pinos Sud). En la pendiente media de la serranía de Sama, entre las comunidades de Calderilla Chica y San Pedro de Sola, como también en el cerro Filo Grande y Cerro Negro, al Sur y Este de la comunidad de Calderilla Grande.

Los suelos son muy superficiales con una cantidad dominante de fragmentos gruesos y afloramientos rocosos en la superficie, textura gruesa, colores pardo oscuros, pH ligeramente ácidos a neutros y fertilidad baja.

Los suelos presentan pedregones grandes en la superficie de colores negros, con abundantes fragmentos gruesos y contacto lítico y paralítico, no presentan horizontes genéticos, la textura es franca arenosa gruesa, el pH es por lo general ligeramente ácido y la fertilidad natural es moderada.

#### **En este rango se encuentran:**

- Los cambisoles se localizan en las partes con mayores profundidades efectivas, presentan un ligero desarrollo pedológico que cumple los requisitos de un horizonte cámbico, la textura es franca en la superficie y un poco más fina en el subhorizonte.
- Los leptosoles son suelos superficiales con espesores menores a los 10 centímetros y texturas francas a más gruesas.
- Los phaeozem se encuentran un poco más dispersos dentro de esta unidad, los pedones cumplen los requisitos de un horizonte mólico, la textura es igual que los cambisoles excepto por el color de la capa superficial que es más oscura, el pH en todos los casos es ácido y fertilidad moderada.

- Los cambisoles se localizan en las partes con mayores profundidades efectivas, presentan un ligero desarrollo pedológico que cumple los requisitos de un horizonte cámbico, la textura es franca en la superficie y un poco más fina en el subhorizonte.
- Los leptosoles son suelos superficiales con espesores menores a los 10 centímetros y texturas francas a más gruesas.
- Los phaeozem se encuentran un poco más dispersos dentro de esta unidad, los pedones cumplen los requisitos de un horizonte mólico, la textura es igual que los cambisoles excepto por el color de la capa superficial que es más oscura, el pH en todos los casos es ácido y fertilidad moderada.

### **Rango 4 – 3**

Se ubica en las comunidades de Turumayo, Lazareto, Tolomosita Oeste, Churquis, Pantipampa, Abra de Magdalena y Pampa Redonda por otro lado localizada en la comunidad de Calderilla Grande, en el paisaje geomorfológico de llanura aluvial, y en la ladera con exposición Oeste en el cerro Huayco Grande Mendoza. Presentes también en el centro de la cuenca (pendiente inferior del cerro Pantipampa), en el paisaje geomorfológico de laderas está formado por cuarcitas, areniscas y conglomerados estos suelos se caracterizan por presentar un desarrollo pedológico mayor que el caso anterior.

Los lixisoles se encuentran sobre todo en los restos de terraza antigua lacustre y los cambisoles en el resto del paisaje con perfiles menos desarrollados. En ambos casos estos suelos presentan texturas francas en la superficie y francas a arcillosas en el resto del perfil, la pedregosidad tanto externa como interna es muy poca a nula, el contenido de materia orgánica varía de moderado en los alfisoles y bajo en los cambisoles el pH es ligeramente alcalino.

Los suelos alfisoles son de colores oscuros en la parte superficial y pardo amarillento en el horizonte subsuperficial, la textura es franca, con abundantes fragmentos gruesos en la superficie y todo el perfil, la fertilidad es baja, y el pH es ligeramente ácido.

Textura media, en las partes más bajas se encuentran los cambisoles con algunas evidencias de desarrollo pedológico, el pH es por lo general ligeramente ácido, la fertilidad natural es baja, presenta un fuerte recubrimiento fluvio-lacustre sobre en cual se ha desarrollado el perfil. Los suelos son de texturas finas, bien desarrollados, colores pardos oscuros bien estructurados, con fragmentos gruesos aislados, profundidad moderada, pH neutro y fertilidad natural baja.

### **Rango 3 - 1**

Esta unidad se ubica en parte de las comunidades de Tolomosa Grande, Churquis y sector Sur de Tablada Grande. Presentes en la cima y pendiente superior de la serranía del ambiente morfogénico Montaña alta al oeste de las comunidades de Calderilla Grande y Calderilla Chica, en el paisaje de laderas en cuarcitas, areniscas y conglomerados.

Los suelos son profundos debido a la acumulación de material heterométrico con gran cantidad de fragmentos gruesos en todo el perfil, la mayor parte de los epipedones tienen colores oscuros y cumplen los requisitos mínimos de un horizonte mólico, en el resto del perfil se evidencia procesos de desarrollo pedogenético que caracteriza a los horizontes cámbicos.

Los suelos presentan procesos de erosión hídrica laminar y cárcavas de grado extremo y en gran parte de esta unidad solo existe el material parental (depósitos lacustres) expuesto, clasificados como regosoles, en otros casos por el constante movimiento de material (perdida y acumulación) por el efecto de la erosión ha dado lugar al desarrollo de pedones que presentan horizontes cámbicos, quedando en la parte de los pequeños interfluvios aislados suelos más desarrollados con horizontes argílicos. En todos los casos los colores son claros, la textura varía de franca arcillosa a arcillosa, el pH es neutro a ligeramente alcalino y la fertilidad natural es baja a muy baja. Presenta problemas con la infiltración del agua de lluvia debido a sus características de texturas finas que hace practicante imposible el establecimiento de una cobertura vegetal.

## **MAPA GEOLÓGICO – TIPO DE ROCA**

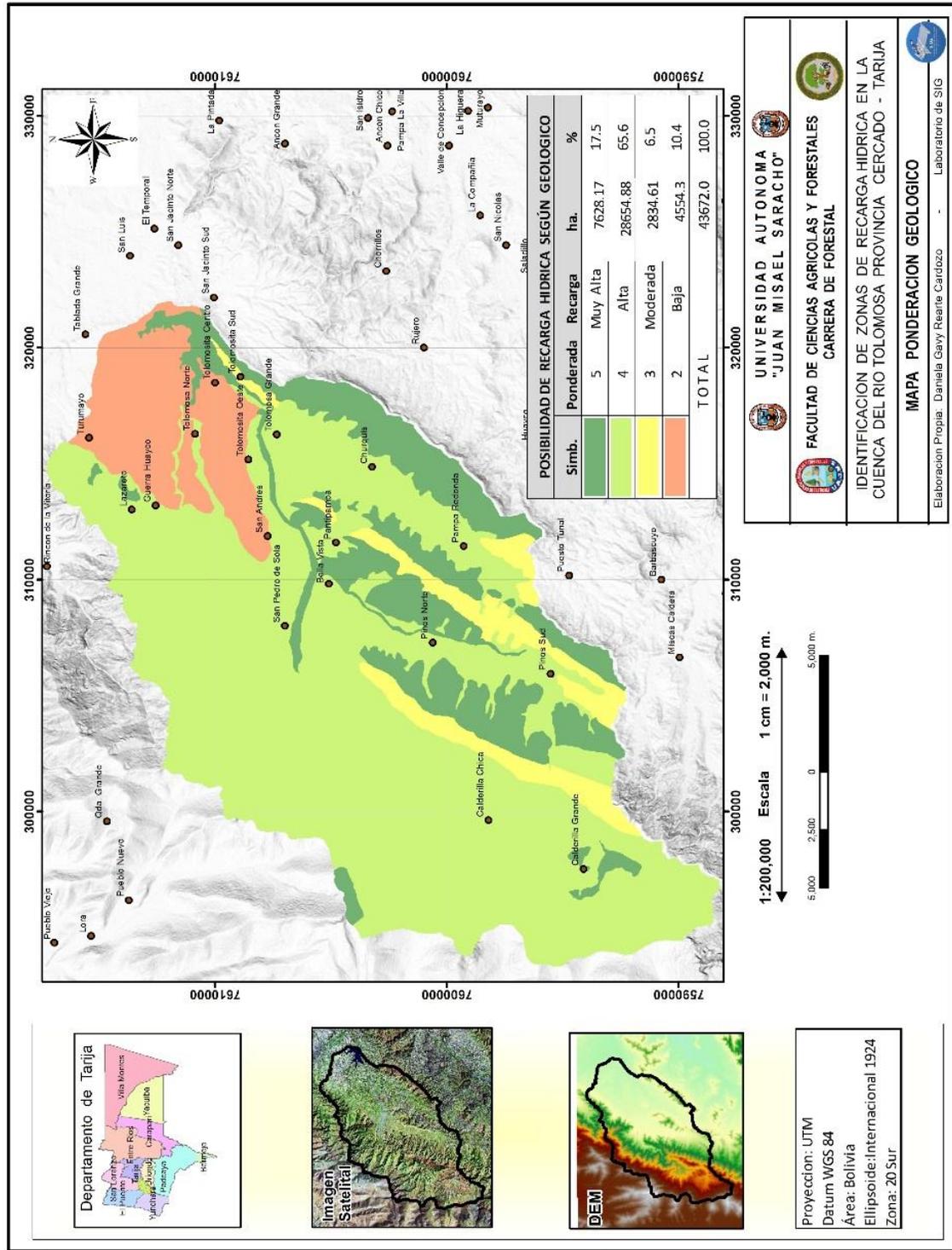
la geología forma parte del medio físico, tiene mucha importancia en un territorio, mediante el mapa geológico podemos identificar, cartografiar y describir las diferentes formaciones geológicas superficiales que afloran en la cuenca del río Tolomosa, con el fin de conocer sus principales características y su relación con el paisaje geomorfológico, suelos y procesos de erosión hídrica

De acuerdo a la información obtenida en la cuenca del río Tolomosa afloran una secuencia litológica desde los sedimentos más recientes del Cuaternario (1,8 M. A), hasta las formaciones más antiguas del Cámbrico inferior (600 M. A.) sus principales características de la cuenca está representado por los siguientes rangos de recarga de tipo geológico o tipos de rocas.

- **Posibilidad de recarga muy alta - rango 5**

Constituidos por los depósitos aluviales, grupo honda, formación santa Rosa, formación Tarabuco, Formación Cieneguillas, se encuentran en el plano inundable o lecho de los principales ríos, Tolomosa, Pinos, Sola y la parte del relleno del valle de Calderilla Grande, también ocupa los altos topográficos, es decir las cimas del cerro Huacas y todo el cerro Huayco Grande, los cerros Repuntadero, Huacas, y pequeñas afloraciones al noreste de Tolomosa Grande, Turumayo y las laderas de Pantipampa; están formados por materiales sueltos de cantos, gravas, limos, arcillas, areniscas arcillosas, areniscas estratificadas en bancos gruesos de grano medio a grueso de color blanquecino a gris rozado, con una alternancia de areniscas de grano fino y lutitas micáceas de color gris olivo claro. (*Ahlfed y Branisa 1960*), (*Steinmann en Ulrich 1982*), (*Rivas, et, al, 1969*)

# Mapa N° 4 GEOLÓGICO O TIPO DE ROCA



Fuente: elaboración propia

- **Posibilidad de recarga alta - rango 4**

(Rivas, et, al, 1969), (Ahlfeld y Branisa 1960), Aranibar, et, al, 1979), indica que están formados por los depósitos coluvio- fluviales, depósitos fluvio – lacustres, en la parte central de la cuenca ubicado en el río Mena por depósitos de terraza, formación Iscayachi, formación Sama y la formación Camacho, estos depósitos y formaciones están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas sedimentados en un ambiente de lago, semiconsolidado de cantos depositados por un proceso coluvio-aluvial formando una sucesión de abanicos coluviales y aluviales, conformando una llanura de piedemonte localizada desde la Comunidad de Tablada hasta Pinos Sud, las principales terrazas aluviales localizadas en márgenes de los ríos Tolomosa, Pinos, Sola, Guadalquivir y las formaciones se presenta en pequeñas superficies del cerro Filo Grande, los extremos norte y oeste (Cima de Sama) de la cuenca, aflora en toda la ladera de Sama desde Turumayo hasta Calderilla Grande y están constituida por areniscas de grano fino a medio, color gris amarillento a gris olivo claro, también están compuestas por cuarcitas macizas y arenisca de color verdoso, gris claro a violáceas o blanquecinas, hacia el tope de la formación existen intercalaciones de limolitas y lutitas amarillentas fosilíferas, forman un paisaje con relieves potentes, masivos y estables, formando uno de los relieves más altos e importantes de esta parte del territorio departamental y por lo tanto de la cuenca del río Tolomosa.

- **Posibilidad de recarga moderada - rango 3**

Está conformado por la formación Kirusilla y la Formación Torohuayco, están compuestas principalmente por lutitas y limolitas, gris oscuras, marrón oscuras bien laminadas, y en mínima proporción por intercalaciones delgadas, capas de areniscas arcillosas cuarcitas de color gris de grano grueso a medio, color rosado, violáceo, blanquecino dispuestas en bancos macizos muy duros, ocupa las partes bajas, caracteriza la ladera inferior con exposición de los cerros Repuntadero y Abra del Viento y la cima del cerro Filo Grande, según Ahlfeld y Branisa 1960, Rivas, et, al, (1969)

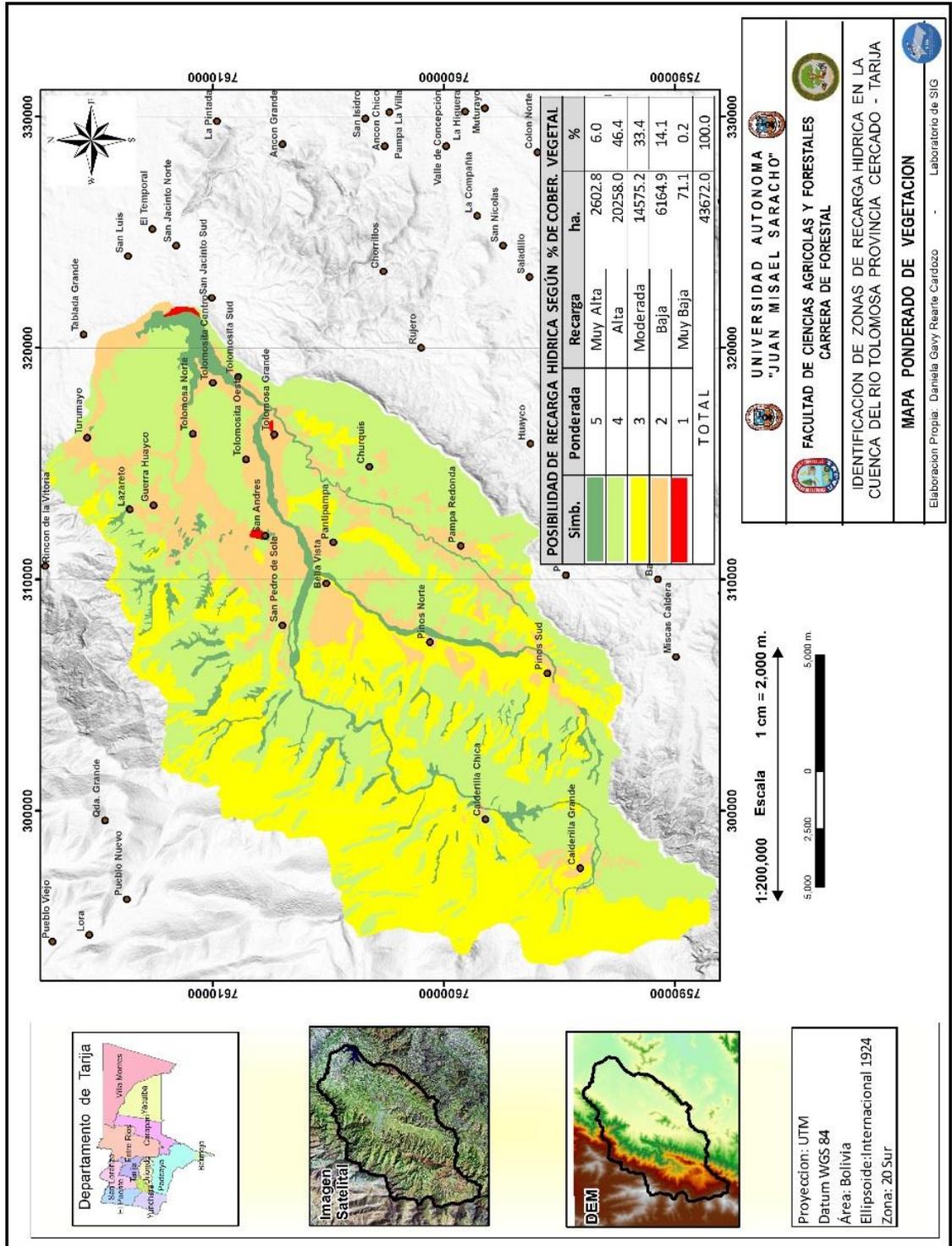
- **Posibilidad de recarga baja - rango 2**

Constituidos por depósitos fluvio-lacustres, están localizados en la parte norte de la cuenca, constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas sedimentados en un ambiente de lago, formando una llanura con relieve muy disectado y con pequeños interfluvios casi planos, la formación lacustre es famosa por su gran riqueza paleontológica de vertebrados.

### **MAPA DE COBERTURA VEGETAL**

La cobertura vegetal constituye la parte más visible de un ecosistema y su importancia en el paisaje no solo como productor primario del ecosistema entre otros aspectos sino también como regulador de procesos hídricos, protector o regulador de los procesos erosivos, hábitat de la fauna silvestre y como recurso de uso básico en la actividad productiva del poblador local, por otro lado la cobertura vegetal es uno de los recursos naturales renovables de mayor empleo en la satisfacción de las necesidades del hombre de este modo el análisis y mapeo de la cobertura vegetal permite identificar potencialidades y limitaciones del paisaje que mitigan o aceleran los procesos erosivos del suelo.

# Mapa N° 5 COBERTURA VEGETAL



Fuente: elaboración propia

Las unidades de cobertura vegetal, se describen por clases de formación constituidas por los siguientes:

### **Cobertura boscosa**

#### **Recarga muy alta valor 5**

- Bosque denso a ralo mayormente verde está constituido por las especies más características y dominantes que son, pino del cerro) y el aliso flojo o aliso chato. El estrato arbustivo y herbáceo es ralo, rico en latifoliadas, forbias y gramíneas, con especies endémicas y otras restringidas donde destacan: Dominguillo (espinillo, thola, thola grande y el estrato herbáceo se caracteriza por la presencia de varios pastos, pasto monteño pasto bandera, hierba epífitas como la sacha. En sitios de mayor altitud, mayor nubosidad y más húmedos, está asociado a la queñua y aliso blanco.
- La masa boscosa de bosque ralo a semidenso está formado por queñua como dominante, también se ha observado brinzales muy aislados del género *Polylepis*, las partes más altas en contacto con los pajonales se encuentra el chirimolle y en el estrato arbustivo y herbáceo son más abundantes la chilca hoja dentada, brillante, paja, pasto, muña.
- Los bosques mayormente caducifolios son bosques bajos (<10 m de altura) aunque se puede encontrar con alturas >10 m.; de cobertura rala a muy rala en sitios muy intervenidos o alterados con ejemplares aislados, la especie dominante es el aliso, acompañan la queñua, espinillo, el estrato arbustivo y herbáceo tiene la apariencia de pajonal con predominio de paja, cebadilla, thola chiqui una especie característica es la sacha, los implantados son pequeños bosques monoespecíficos de *Eucalypto* para productos maderables y leña. En las llanuras de inundación (embalse San Jacinto) consta de cobertura variable desde denso a ralo, y fuera de los potreros en las áreas antrópicas predomina la gramilla y la hierba, dentro de los potreros está compuesto por gramíneas. En terrenos que están en descanso por más de tres años comienza a colonizar la thola blanca.

## **Matorrales**

### **Recarga alta valor 4**

- Matorral ralo que tiene como especie dominante el churqui, especie leñosa con características de arbusto alto o arbolito, deciduo, espinoso, típico de los valles semiáridos, forma matorrales o chaparrales puros, en este caso acompañan también arbustos como tholilla hoja dentada, brillante en forma aislada se presenta el molle y otras, el estrato herbáceo corresponde a un pastizal formado principalmente por pasto horqueta, paja y anís de campo en los sitios más intervenidos, pasan a dominar hierbas anuales y bianuales como moco chico.
- El matorral semidenso es de cobertura semidensa a densa, pueden pasar los 2 m de altura con especies xerofíticas espinosas como taquillo con espinas, churqui negro y presentan árboles emergentes aislados de aliso rojo el estrato herbáceo es semidenso a ralo bajo, las especies más abundantes y características determinadas en la muestra son: chacatea salvia algunas tholas como pichana, thola macho, romerillo thola, thola grande y la paja que en sectores pasa a ser dominante, acompañan otros arbustos como espinillo, thola hoja entera, el estrato herbáceo es bajo, ralo a semidenso, dominan gramíneas como pasto, pasto hojudo y otras que caracterizan una buena riqueza florística de estos matorrales.
- Y el matorral denso está formado por arbustos caducifolios y siempre verdes, los típicos churquiales, taquillo, tinajerillo, en forma aislada se encuentra tipa algunos molles y algarrobo con predominio de thola, tholilla hoja dentada, brillante, en forma dispersa se encuentra churqui, localmente presenta aliso chato y árboles emergentes aislados. El estrato herbáceo es bajo, semidenso a ralo, con predominio de las gramíneas como pasto pampeño, grama dulce, horqueta y los pastos, anís de campo, pasto flechilla, pasto cebadilla y otras especies y varias hierbas anuales y bianuales.
- También presentan vegetación herbácea graminoide baja con sinusia arbustiva, en el estrato arbustivo domina la thola cerreña, thola, salvia morada, pichana, thola macho, romerillo, thola Pulmonaria, a su vez en el estrato herbáceo

predominan los pastos y en la parte de los pastizales tenemos el pasto plomo, pasto colcha y otras especies.

- Y la vegetación graminoide intermedia con sinusia arbustiva montano y subalpino está formada principalmente por especies arbustivas de cobertura rala predominando las especies salvia, tholilla hoja dentada, brillante y otras especies. En el estrato herbáceo dominan las gramíneas con especies de mayor cobertura como pasto colorado, cañudo, pasto pampeño entre los helechos se tiene al helecho arbustivo y otras hierbas anuales y perennes.

### **Vegetación herbácea**

#### **Recarga moderada valor 3**

- Consta de vegetación herbácea graminoide intermedia sin sinucia arbustiva, formado por gramíneas, la composición florística está representada principalmente por la paja, corresponde a un pastizal semidenso a denso donde predomina la aristida estrella y pajonales desarrollados a lo largo del piedemonte, con una cobertura de 40 a 45%, especies dominantes mayores a los 50 cm de altura, moco moco chico, pasto colorado, pasto, paja, pasto flechilla, pasto cebadilla, la tholilla, tholilla hoja dentada brillante que se presentan en laderas convexas con mejor exposición y varias hierbas entre las que destacan el anís de campo, vira vira, entre las hierbas anuales se destacan el suico, hierba flor, blanquita cerreña y arbustos aislados como manzanita, la soldaca o suelda con suelda, zanahorilla, moco moco.
- Vegetación herbácea baja sin sinucia, presenta un pastizal de altura y pastizal bajo compuesto por paja, pasto horqueta, pasto pilosa, gramilla y otras especies típicas del piso alto andino.

### **Áreas antrópicas**

#### **Recarga baja valor 2**

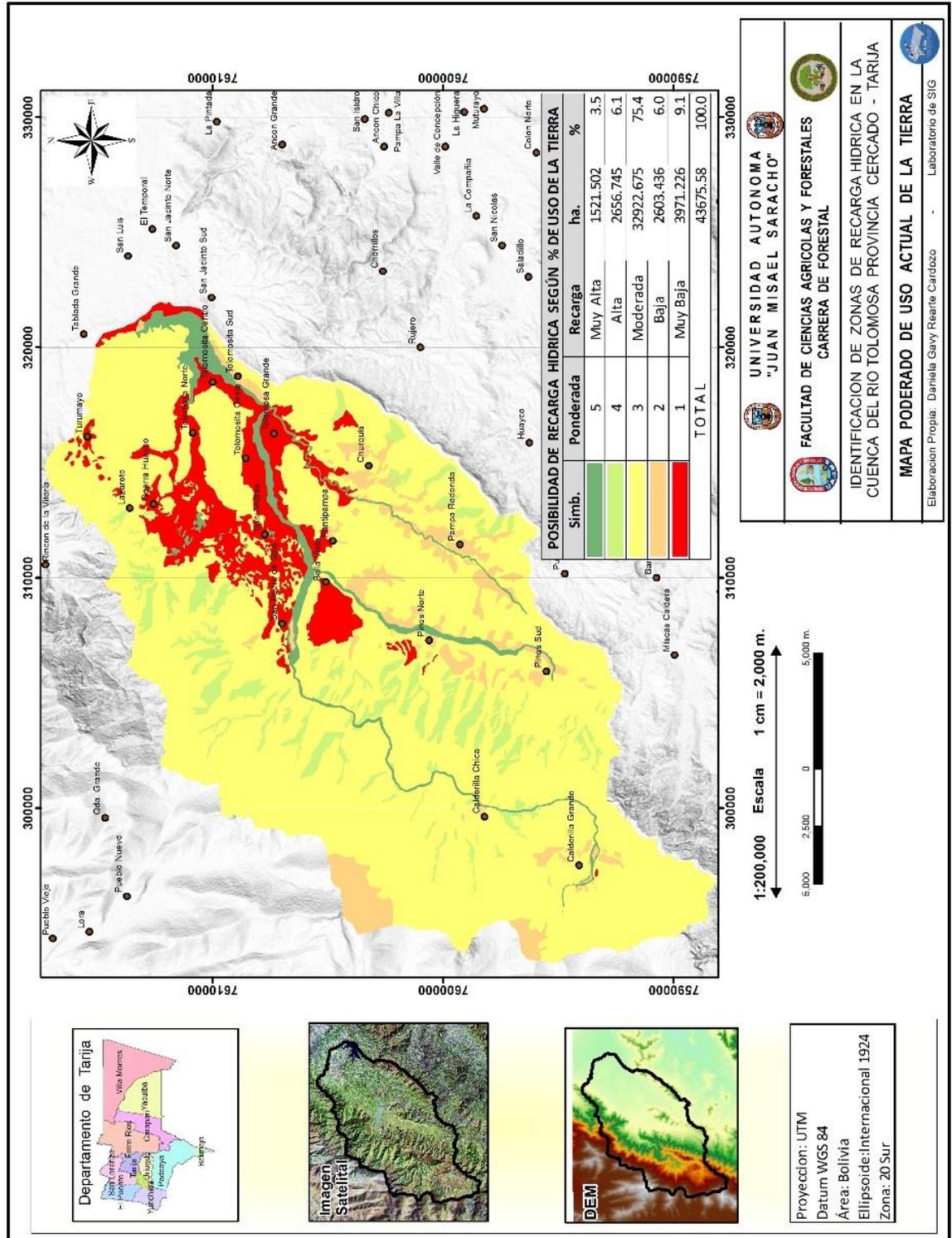
Constituido por áreas de cultivo agrícola y constituidos por matorrales y pastizales, está conformado por agricultura a riego y secano con cultivos de maíz, papa, maní, arveja,

haba, avena, hortalizas y algunos frutales; también se presentan áreas con vegetación secundaria y terrenos en descanso con especies nativas como ceibo, tarco, churqui varias especies exóticas como ciprés, acacia, eucalipto y varias especies arbustivas y hierbas anuales, en los terrenos en descanso el pastizal tiene cobertura variable, desde denso a ralo, fuera de los potreros predomina la gramilla y la hierba, dentro de los potreros la composición florística es compleja con muchas forbias anuales y gramíneas de sustitución. En terrenos que están en descanso por más de tres años comienza a colonizar la thola blanca.

### **MAPA DE USOS DEL SUELO**

El uso y la aptitud del suelo son las actividades del hombre en un área del terreno que están directamente relacionadas con esta área, la relación estructural entre sociedad y naturaleza, particularmente relacionadas en un determinado espacio geográfico que permite establecer los usos predominantes de los recursos naturales renovables, los sistemas de producción desarrollados y otros factores que influyen hacia ciertos de uso y sistemas de producción, los efectos diferenciales que pueden tener las actividades humanas en cada ecosistema o unidad de terreno y establecer los niveles de sostenibilidad o de alteración y depredación de los recursos naturales, especialmente de la vegetación natural originando o agravando procesos de degradación del paisaje como la erosión del suelo, disminución de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo entre otros.

# Mapa N° 6 USOS DEL SUELO



Fuente: elaboración propia

## **Principales características de uso actual de la tierra:**

### **Recarga muy alta - rango 5**

Bosque implantado corresponde al paisaje de piedemonte con una cobertura de áreas antrópicas y presencia de formas especiales de erosión. Las pequeñas plantaciones de eucalipto son establecidos con el propósito de la conservación del suelo, producción de productos maderables y no maderables.

- ✓ Embalse de San Jacinto comprende el espejo de agua siendo el agua destinada para riego, generación de energía eléctrica, consumo doméstico y uso deportivo recreativo.
- ✓ El paisaje aluvial de los ríos Sola, Pinos, Calderilla, Queñual, son un importante espacio de uso comunitario no solo para el aprovechamiento del agua para consumo doméstico, riego, esparcimiento y otros, si no para el pastoreo permanente de todos los tipos de ganado de la zona.

### **Recarga alta - rango 4**

Uso agrícola Intensivo con cultivos anuales y perennes, los principales cultivos, según la superficie sembrada son papa, maíz, arveja, avena forrajera y algunas hortalizas, repollo, zanahoria, haba, tanto la siembra como la cosecha son manuales se emplea la yunta de bueyes y mano de obra familiar.

La preparación de suelo comprende el riego, arada y cruce; la siembra generalmente con tracción animal (yunta de bueye), las labores culturales (riegos, aporques, deshierbes, carpidas y tratamientos fitosanitarios) y cosecha se realizan manualmente con mano de obra familiar. La rotación más frecuente es papa-maíz, papa-maíz-maní o papa-cebolla-maní-maíz, las áreas con Urbanización comprenden el espejo de agua del Embalse San Jacinto, siendo el agua destinada para riego, generación de energía eléctrica, consumo doméstico y uso deportivo recreativo.

### **Recarga moderada - rango 3**

Uso agrícola, afloramiento rocoso y fauna silvestre, la actividad agrícola se presenta en paisajes de llanura aluvial y piedemonte con rasgos de presencia de erosión severa, en esta forma de uso se tiene al maíz como el cultivo principal, seguido de la papa y

últimamente se está desarrollando el cultivo de tomate, una parte de los residuos de cosecha se almacena en “chaleros” como forraje seco de emergencia, la otra parte es consumida íntegramente por bovinos, caprinos y ovinos que, pastorean libremente en el invierno en terrenos de cultivo, descanso y pastizales de sustitución adyacentes.

El paisaje también se caracteriza por presentar pendientes muy escarpadas, mucho afloramiento rocoso y escarpes que hacen a la unidad muy poco accesible para el ganado bovino mayormente para la fauna silvestre venado excepto algunos sitios aislados donde pastorean algunos vacunos con muy poca frecuencia.

### **Recarga moderada - rango 2**

Esta forma de uso se ubica más q todo en las laderas cubiertos por vegetación herbácea, arbustiva, matorral xeromorfo y especialmente de gramíneas que son de buena palatabilidad para el ganado mixto. se tiene como actividad principal el pastoreo extensivo con presencia de especies forrajeras para el ganado bovino, ovino, vacuno, caprinos y equinos el pastoreo se caracteriza por desarrollarse en sitios cubiertos mayormente de pastizales asociados con matorrales y humedales debido a la permanente cobertura de la vegetación forrajera y en sectores cercanos a las comunidades, por la accesibilidad a estas áreas de pastoreo, este factor tiende a provocar que la cobertura forrajera tiende a desaparecer causando la degradación del suelo que presentan intensos procesos de erosión hídrica, relieves escarpados o muy disectados, poca presencia de vegetación especialmente de especies forrajeras de buena palatabilidad para el ganado en general limitando su uso las áreas de cultivos con árboles implantados agrícolas como maíz y otros, con árboles implantados que se caracteriza por la presencia de árboles ciprés que actúan como cortinas rompe vientos, por último la extracción de leña de los matorrales presentes en esta forma de uso.

Este factor tiende a provocar que la cobertura forrajera tiende a desaparecer causando la degradación del suelo que presentan intensos procesos de erosión hídrica, relieves escarpados o muy disectados, poca presencia de vegetación especialmente de especies forrajeras de buena palatabilidad para el ganado en general limitando su uso.

### Recarga moderada - rango 1

Uso Silvopastoril con bovinos ovinos, caprinos en matorrales semidenso y con extracción de leña. Este tipo de ocupación se presenta en varios sectores dispersos ubicados en laderas de la Cordillera de Sama y el cerro Filo Grande, Se encuentra cubriendo paisajes de Laderas constituidos por una cobertura vegetal de Bosque con poca presencia de erosión la vegetación es fuente de forraje, productos maderables y no maderables, de esta manera forma parte de un área que se destina al pastoreo y ramoneo extensivo permanente de pequeños hatos de bovinos de pequeños productores, los productos de la ganadería caprinos y ovinos: carne, lana y queso se destina a la venta en caso de una emergencia familiar, otra parte se destina para el autoconsumo.

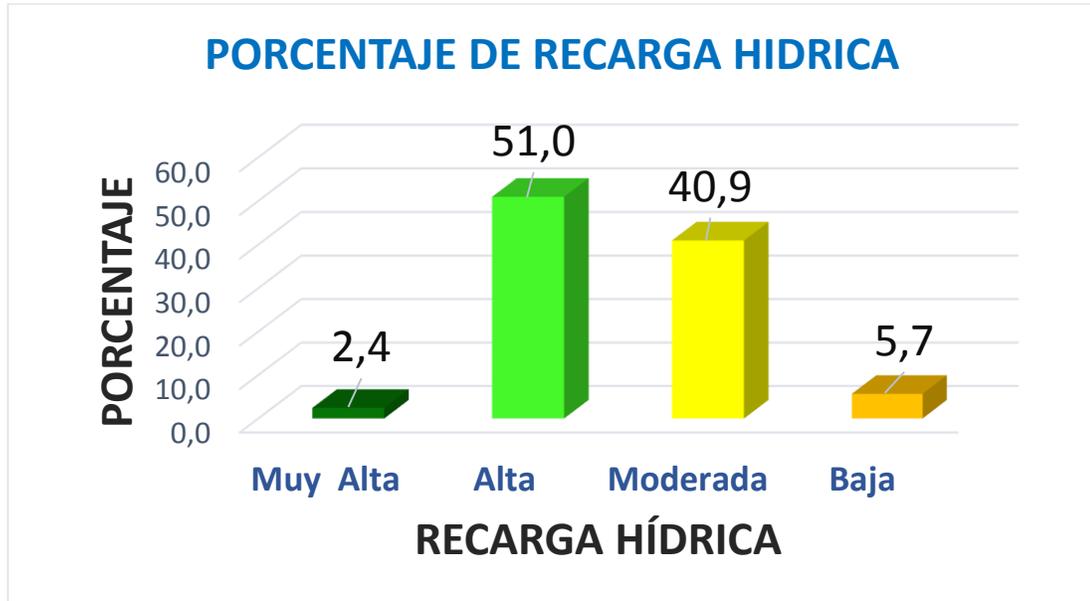
#### 4.1. ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA

**Cuadro N° 9 RECARGA HÍDRICA CUENCA TOLOMOSA**

RECARGA HÍDRICA CUENCA TOLOMOSA				
Simb.	Ponderada	Recarga	ha.	%
	5	Muy Alta	1064,08	2,4
	4	Alta	22252,09	51,0
	3	Moderada	17878,13	40,9
	2	Baja	2477,85	5,7
TOTAL			43672,2	100,0

**Fuente:** *Elaboración propia*

Gráfica N° 1 Porcentaje de recarga hídrica.



Fuente: *Elaboración propia*

#### Potencial de recarga hídrica muy alta rango 5

Constituido por los siguientes tipos de bosque:



Esta unidad de recarga muy alta tiene un % de 2.4 presentes en la cuenca de Tolomosa, haciendo una superficie de 1064.1 ha. Está distribuido espacialmente en la zona norte de la cuenca parte alta, en los cerros Larga loma, Cruz loma, Rincón loma que se ubican en la subcuenca afluentes directos al embalse, (ver anexo 1 mapa 1), presentan un bosque denso a ralo mayormente verde está conformado por las especies más características y dominantes que son, pino del cerro (*Podocarpus parlatorei Pilger*) y el aliso flojo o aliso chato (*Myrica pubescens Wild*).

El estrato arbustivo es ralo, rico en latifoliadas, forbias y gramíneas, con especies endémicas y otras restringidas donde destacan: Dominguillo (*Randia sp.*), espinillo (*Duranta serratifolia*) (*Griseb.*) *Kuntzei.*), thola (*Eupatorium bunniifolium Hooker e Arnott*), thola grande (*Baccharis dracunculifolia De Candolle*).

El estrato herbáceo se caracteriza por la presencia de varios pastos (*Eragrostis sp.*), pasto monteño (*Ichnantus sp.*), pasto bandera (*Oplismenus hirtellus Beauv.*), hierba (Dioda sp.); epífitas como la sachá (*Tillandsia usnoides Ripsalis*). En sitios de mayor altitud, mayor nubosidad y más húmedos está asociado a la queñua (*Polylepis sp.*), aliso blanco (*Alnus acuminata H.B.K.*).

En la subcuenca del río Sola al norte de calderilla chica parte media de la cuenca, en los cerros de filo grande y piedra grande, está compuesto por masa boscosa de bosque ralo a semidenso formado por especies *Polylepis* cf. crista-galli Bitter y *Polylepis* sp como dominantes, se ha observado brinzales muy aislados del género *Polylepis*, las partes más altas en contacto con los pajonales se encuentra el chirimolle (*Schinus andinos (Engl.) I.M. J.*).

En el estrato arbustivo y herbáceo son más abundantes la chilca (*Jungia polita Griseb.*), tholilla hoja dentada, brillante (*Baccharis sp.*), paja (*Deyeuxia sp.*), pasto cebollín (*Cyperus sp4*), *Stevia sp.3*, muña (*Satureja parviflora (Phil.) Epling*), presentes también los bosques implantados que están formados por *Eucalyptus spp*, para productos maderables y leña.

Su uso es silvopastoril con bovinos, ovinos, caprinos y extracción de leña con pendientes mayores > a 60 %, con relieves muy escarpadas, este tipo de pendientes llega a ser el más extenso de la cuenca, caracteriza a todas las laderas del paisaje de montaña estructural alta.

la parte central de la cuenca está formada por depósitos coluvio-fluviales, depósitos fluvio lacustres, depósitos de terraza, y las formaciones, Sama al norte de la cuenca y formación camacho en la parte central, estos depósitos y formaciones están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas sedimentados, semiconsolidados de cantos depositados por un proceso coluvio-aluvial, formando una sucesión de abanicos coluviales, aluviales y una llanura de piedemonte localizada desde la Comunidad de Lazareto hasta Pinos Sud, las principales terrazas aluviales localizadas en márgenes de los ríos Tolomosa, Pinos, Sola se presentan en pequeñas superficies del cerro Filo Grande, Potrero loma y cerro San Antonio, los extremos norte y oeste (Cima de Sama)

de la cuenca y están constituidas por areniscas de grano fino a medio, color gris amarillento a gris olivo claro, también está compuesta por cuarcitas macizas y arenisca de color verdoso, gris claro a blanquecinas, hacia el tope de la formación existen intercalaciones de limolitas y lutitas amarillentas fosilíferas, forman un paisaje con relieves potentes, masivos y estables con una textura franco arenosa gruesa, se localizan en el ambiente morfogénico denominado montaña estructural alta y laderas, los suelos son muy superficiales con una cantidad dominante de fragmentos gruesos y afloramientos rocosos en la superficie, textura gruesa, colores pardo oscuros.

#### **Potencial de recarga hídrica alta rango 4**



Esta unidad de recarga alta es la de mayor porcentaje en superficie con el 51%, formando una superficie de 22252.09 ha. Ver cuadro N° 9. Está distribuido espacialmente en la zona noroeste de la cuenca, parte montana con vegetación matorral semidenso y puede pasar los 2 m de altura con especies xerofíticas espinosas como taquillo con espinas, (*Prosopis alpataco Phil*), taquillo *Prosopis sp.*), churqui negro, *Acacia caven (Mol.) Hook. & Arn.* y presentan árboles emergentes aislados de aliso rojo (*Myrica pubescens Humb. & Bompl.ex Willd.*).

El estrato herbáceo es semidenso a ralo, bajo; las especies más abundantes y características determinadas en la muestra son: chacatea (*Dodonea viscosa Jack*), Salvia (*Aloysia sp.1*), algunas tholas como pichana, thola macho, romerillo thola (*Eupatorium bunniifolium Hooker & Arnott.*), thola grande (*Baccharis dracunculifolia* y *Baccharis boliviensis (Wedd)Cabr*), paja (*Elyonurus muticus (Sprengel) Kuntzei* de Candolle.) que en sectores pasa a ser dominante, acompañan otros arbustos como espinillo (*Duranta serratifolia. Griseb. Kuntzei*), thola hoja entera (*Eupatorium bupleirifolium De Candolle*).

Y el matorral denso está formado por arbustos caducifolios y siempre verdes, distribuido en los diferentes tipos de valles presentes en las 4 subcuencas con

vegetación de tipo churquiales taquillo (*Prosopis alpataco* Phill) tinajerillo (*Crotón orbygnyanus* Muell. Arg.), en forma aislada se encuentra tipa (*Tipuana tipu* Kuntzei), algunos molles (*Schinus molle* (L)) y algarrobo (*Prosopis* sp) con predominio de thola (*Eupatorium bunniifolium* Hooker e Arnott), tholilla hoja dentada, brillante (*Baccharis* sp.), localmente presenta aliso chato (*Myrica pubescens* Wild) y árboles emergentes aislados.

La parte media de los cerros Chullpayoj loma, Larga loma, comunidades cercanas a estas zonas, San Pedro de Sola, Lazareto, al este de la cuenca en los cerros Abra del Puesto, cerro Wuaykha y en la subcuenca de Sola presentes en el cerro Piedra grande, cerro Mojon al suroeste el cerro Inga y cerro Peña negra, aledaño de las comunidades Calderilla Grande y Pinos sud, en la subcuenca pinos en los cerros Filo Grande y Abra Magdalena presentando en estos una vegetación graminoide intermedia con sinusia arbustiva montano y supalpino está formada principalmente por especies arbustivas de cobertura rala predominando las especies salvia Aloysia sp.1, thola Baccharis sp.6, tholilla hoja dentada, brillante Baccharis sp y otras especies.

En el estrato herbáceo dominan las gramíneas con especies de mayor cobertura como pasto colorado, cañudo (*Schizachyrium* sp.3), pasto pampeño (*Axonopus* sp.), entre los helechos se tiene al helecho arbustivo (*Pteris* sp.1) hierbas anuales y perennes, también presentan vegetación herbácea graminoide baja con sinusia arbustiva, en el estrato arbustivo domina la thola cerreña, thola (*Baccharis dracunculifolia* De Candolle), salvia morada (*Lepechinia graveolens*(Regel)Epling), pichana, thola macho, romerillo thola (*Eupatorium bunniifolium* Hooker & Arnott), Pulmonaria Achyrocline ramosissima (*Schp, Bip*) Brito.

A su vez en el estrato herbáceo predominan los pastos Nassella sp., Paspalum notatum Flueggue, (*Elyonurus muticus* (Sprengel) Kuntzei), y en la parte de los pastizales tenemos el pasto plomo (*Eragrostis* sp.8), paspalum plomo (*Paspalum ekmanianum* Henr.) pasto Deyeuxia sp, pasto colcha (*Calamagrostis heterophylla* (Wedd.) Pilg).

Por otro lado en la parte alta con un piso ecológico de subalpino a alpino en los cerros Morro Alto, cerro negro de Chismuri, parte norte de la cuenca presenta una formación

de vegetación herbácea graminoide intermedia presenta un pastizal de altura y pastizal bajo compuesto por *Stipa sp.2*, *Calamagrostis heterophylla* (Wedd) Pilg, la paja *Festuca dolichophylla* Presl, pasto horqueta (*Paspalum notatum* Flueggue), pasto (*Eragrostis pilosa* (L.) Beauv.), pasto (*Eragrostis sp.*), pasto (*Axonopus compressus* (Sw.) P.Beauv.), gramilla (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) y otras especies típicas del piso altoandino sin sinucia arbustiva dominados fundamentalmente por las gramíneas.

La composición florística está representada principalmente por pajonales desarrollados a lo largo del piedemonte compuestos por formas graminoideas amacolladas de cobertura variable rala a semidensa, especies dominantes moco moco chico *Gomphrena sp*, pasto colorado (*Schizachyrium sp*), pasto (*Deyeuxia sp.*), paja (*Festuca sp.*), pasto flechilla, pasto cebadilla (*Stipa sp.*) la tholilla (*Baccharis sp.3*); tholilla hoja dentada, brillante (*Baccharis sp.*) que se presentan en laderas convexas con mejor exposición, y varias hierbas entre las que destacan el anís de campo (*Tapetes pusilla* H.B.K.), vira vira chica (*Lucilia jamesoni* Back). y algunos arbustos aislados especialmente en las depresiones como manzanita (*Pernettya sp.*) y *Brachyotum microdon* (Waud), también destacan la soldaca o suelda con suelda (*Hypseocharis sp.*), *Alchemilla pinnata* R & P., saítillita (*Bidens sp.2*), zanahorilla (*Dreomyrichis sp.*), moco moco (*Gomphrena sp.1*), *Noticastrum marginatum* (H.B.K.).

Su uso en estas unidades está formado por uso silvopastoril con ganado bovino, ovino, caprinos y extracción de leña, entre pendientes dominantes mayores a 60% y en menor proporción.

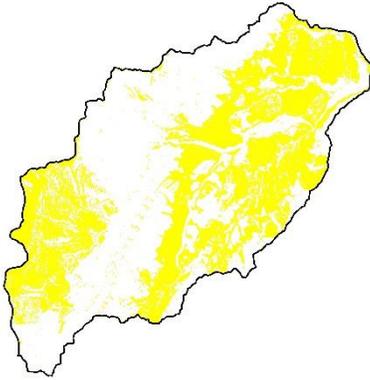
Se encuentran pendientes de 15 a 45 y 45 a 60%, geológicamente presenta un tipo de roca compuesta por cuarcitas macizas y arenisca de color verdoso, gris claro a violáceas o blanquecinas, dispuestas en bancos gruesos y medianos. Hacia el tope de la formación existen intercalaciones de limolitas, esta litología pertenece a la formación Sama que aflora en toda la ladera desde Turumayo (en el Norte) hasta Calderilla Grande (en el Suroeste). Constituye la parte superior del Cámbrico.

En menor proporción encontramos areniscas estratificadas en bancos gruesos de grano medio a grueso de color blanquecino a gris rozado, a veces entrecruzada también está

compuesto por lutitas y limolitas de color marrón a gris oscuras, con pocas intercalaciones de pequeños bancos de areniscas arcillosas friables dispuestas en capas delgadas, presentes en la formación Santa Rosa y Cieneguillas ubicados en la subcuenca Pinos y al este de la subcuenca Mena.

Presentan texturas gruesas de franco arenoso a franco arcilloso con una cantidad dominante de fragmentos gruesos y afloramientos rocosos en la superficie.

### **Potencial de recarga hídrica moderada rango 3**



Esta unidad de recarga moderada es la segunda más grande en superficie con recarga moderada, siendo el 40,9 % presentando una superficie 17878, 13, al igual que en la unidad de recarga 4, presenta matorrales que se desarrollan en el piso ecológico montano, con estratos arbustivos formado por churqui (*Acacia caven* (Mol) H. & A.) conformando los típicos churquiales,

de cobertura semidensa a rala, acompañan al churqui otros arbustos como (*Prosopis alpataco Phil*), tinajerillo (*Crotón orbygnyanus Muell. Arg.*), en forma aislada se encuentra tipa (*Tipuana tipu Kuntzei*), algunos molles (*Schinus molle* (L)) y algarrobo (*Prosopis sp*); especies xerofíticas espinosas como taquillo con espinas (*Prosopis alpataco Phil*), taquillo (*Prosopis sp.*), Hook. & Arn. Algunas tholas como pichana, thola macho, romerillo thola (*Eupatorium bunniifolium Hooker & Arnott.*).

El estrato herbáceo compuesto por varios pastos como *Chloris sp.1*, *Ichnanthus sp.*, *Setaria sp.*, *Paspalum notatum Flueggue*, *Axonopus compresus* (Sw) Beauv.

En el piso subalpino y alpino corresponde a un pastizal bajo, semidenso a denso, donde predomina la gramilla (*Muhlenbergia peruviana* (Beauv) Steud) que es un pasto de porte pequeño, perenne y muy difundido en la zona, con abundancia en términos de cobertura desde claro a denso, que la da a la unidad un aspecto cespitoso, acompañan el pasto paja *Scirpus cf. rigidus*, (Steud) Boeck (*Arístida sp.4*), la paja (*Elyonurus cf. tripsacoides Willd*) y varias hierbas entre las que destacan la soldaca o suelda con suelda (*Hypseocharis sp.*), Alchemilla pinnata R & P., saitillita (*Bidens sp.2*),

zanahorilla (*Dreomyrichis sp.*), moco moco (*Gomphrena sp.1*), *Noticastrum marginatum* (H.B.K.) C.

En la parte montana esta unidad presenta un uso de pastoreo extensivo en matorral xeromorfo de sustitución con ganado bovino y en la parte alpina, su pendiente está entre 6 - 15 y 15 - 45 %

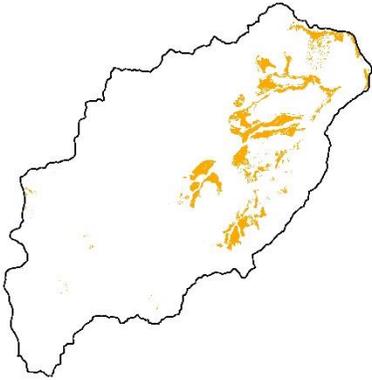
En la parte baja de las sub cuencas afluentes al embalse, Pinos y Mena y en la parte alta en la subcuenca Sola se presenta pendientes mayores a 45 %, constituidos por depósitos fluvio-lacustres, están localizados en la parte norte de la cuenca.

Están formados por gravas, arenas, limos y arcillas sedimentados en un ambiente de lago, formando una llanura con relieve muy disectado y con pequeños interfluvios casi planos, al sur de la cuenca presentan depósitos aluviales, grupo honda, formación Santa Rosa, formación Tarabuco, Formación Cieneguillas.

Se encuentran en el plano inundable o lecho de los principales ríos como el Tolomosa, Pinos, Sola y la parte del relleno del valle de Calderilla Grande, también ocupa los altos topográficos, es decir las cimas del cerro Huacas y todo el cerro Huayco Grande, los cerros Repuntadero, Huacas, pequeñas afloraciones al noreste de Tolomosa Grande, Turumayo y las laderas de Pantipampa y están formados por materiales sueltos de cantos gravas, limos arcillas, areniscas arcillosas, areniscas estratificadas en bancos gruesos de grano medio a grueso de color blanquecino a gris rozado, con una alternancia de areniscas de grano fino y lutitas micáceas de color gris olivo claro, su textura varía de franca arcillosa a arcillosa.

### **Potencial de recarga hídrica baja rango 2**

Esta unidad de recarga baja con un porcentaje de 5,7%, haciendo una superficie de 2477,85, se localizan en piedemontes y terrazas aluviales corresponde al piso montano, presentan áreas con vegetación secundaria y terrenos en descanso con especies nativas como ceibo (*Eritrina crista-galli L.*), tarco (*Jacarandá mimosifolia D. Don.*), churqui (*Acacia caven (Mol.) H.& A.*), varias especies exóticas como ciprés (*Cupresus sp.*),



acacia (*Acacia cyanophylla*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*) y varias especies arbustivas y hierbas anuales, se practica agricultura a riego y secano con cultivos de maíz, papa, maní, arveja, haba, avena, hortalizas algunos frutales

Y en el piso subalpino tiene pastizales de cobertura variable, desde denso a ralo, fuera de los potreros predomina la gramilla (*Muhlenbergia peruviana (Beauv) Steud.*) y la hierba (*Alchemilla pinnata R & P*), dentro de los potreros la composición florística es compleja con muchas forbias anuales y gramíneas de sustitución.

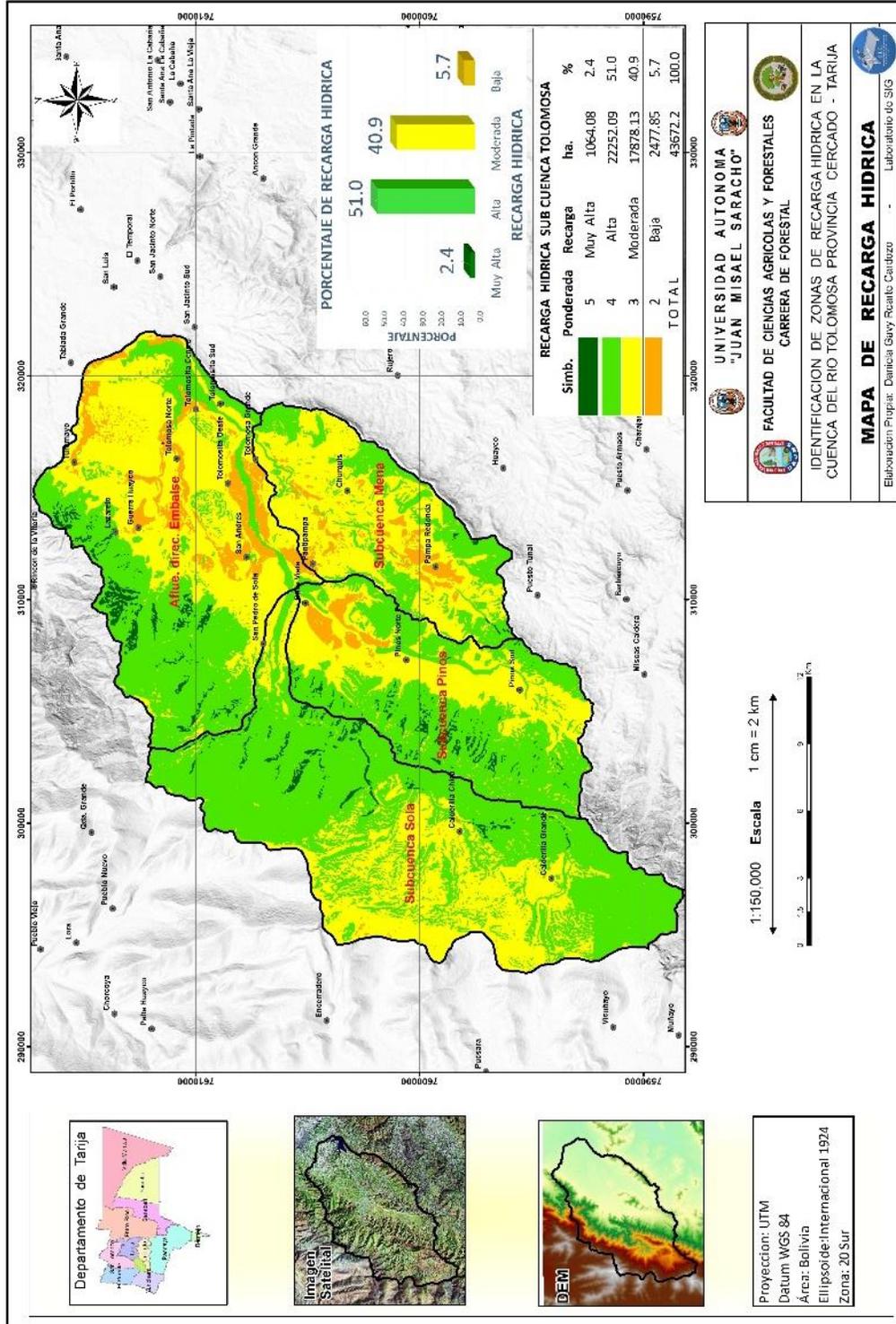
En terrenos que están en descanso por más de tres años comienza a colonizar la thola blanca (*Baccharis dracunculifolia De. Candolle.*), los cultivos de altura son papa liza, oca y papa, muy poco maíz.

Existen muchos terrenos en descanso, en general se deja descansar el suelo por 3 años, para luego comenzar la rotación con la siembra de papa.

Estas zonas compuestas por un uso agrícola intensivo, con cultivos anuales y perennes se encuentran en las zonas de la comunidad de Tolomosa Grande, Tolomosa Oeste, Tolomosita Centro Tolomosita Norte, San Andrés, Pampa Redonda, Churquis, Pinos Norte y Calderilla Chica, dominando una pendiente de 0 - 6 % y en menor proporción de 6 - 15 %, están constituidos por material semiconsolidado de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas formando las principales terrazas aluviales localizadas en ambos márgenes de los ríos Tolomosa, Pinos, Sola, con exposición este de los cerros Huacas y Repuntadero, y en el extremo noreste de la cuenca (cerro Filo San Jacinto); está constituida por una alternancia de areniscas de grano fino y lutitas micáceas de color gris olivo claro.

Presentan texturas francas en la superficie y francas a arcillosas en el resto del perfil.

# Mapa N° 7 MAPA DE RECARGA HÍDRICA



Elaboración propia

## 4.2 BALANCE HÍDRICO

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración potencial mensual (ETP) podemos obtener el Balance hídrico de la cuenca de Tolomosa.

La incertidumbre de un esquema de balance hídrico puede evaluarse desde varios puntos de vista, para este trabajo se usó el marco propuesto por el teorema de Holdridge aplicando las herramientas geomáticas con la plataforma de Worldclim utilizando los datos meteorológicos históricos, donde generamos el balance hídrico de la Cuenca de Tolomosa ver cuadro N° 10 y gráfica N° 2.

La cuenca tiene una superficie de 43672.15 ha, forma parte de las ecorregiones, valles y montañas templados semiáridos y semihúmedos localizados desde los 1900 a los 3600 msnm y la ecoregión alto andina y de puna hasta los 4600 msnm, con clima frío húmedo, este gradiente altitudinal determina discontinuidades del medio biofísico, por tanto existe una importante variación climática.

Según el balance hídrico en los meses de noviembre a marzo la cuenca presenta un almacenamiento o recarga, presentando los meses de enero con 107.78 mm y febrero 76.24mm y el mes de marzo con 4.63mm de exceso hídrico, haciendo un total de 188,66 mm. Año y los meses de abril a octubre un déficit de 506.31 mm. Año El mes con mayor precipitación es el mes de enero con 214.7 mm. Presentando una precipitación media anual de 1002.35 mm. Y los meses de mayo a agosto con menor precipitación en la cuenca ver Cuadro n° 9 y gráfica N°2.

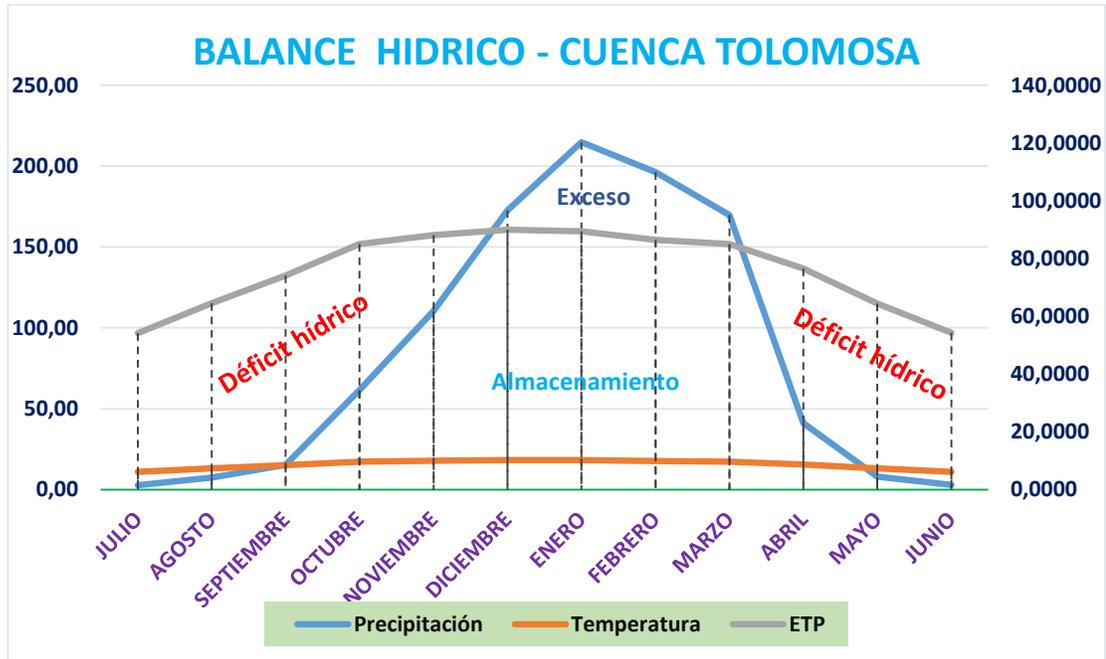
Presentando la cuenca una evapotranspiración real de 813.69.

**Cuadro Nº 10** BALANCE HÍDRICO - CUENCA DE TOLOMOSA**BALANCE HÍDRICO - CUENCA DE TOLOMOSA**

MES	P mm	Tº	Eto mm	Pre-Almc	Almc mm	Etr mm	Def mm	Exc mm
Noviembre	110,5	17,9	90,0	20,46	20,46	90	0	0
Diciembre	172,6	18,3	100,0	93,07	93,07	100	0	0
Enero	214,7	18,2	100,0	100,00	100	100	0	107,78
Febrero	196,2	17,6	120,0	100,00	100	120	0	76,24
Marzo	169,6	17,3	165,0	100,00	100	165	0	4,63
Abril	41,0	15,6	160,0	-18,97	0	141,03	18,97	0
Mayo	8,0	13,1	165,0	-176,02	0	7,96	157,04	0
Junio	2,9	11,1	65,0	-238,12	0	2,89	62,11	0
Julio	2,6	11,0	80,0	-315,51	0	2,62	77,38	0
Agosto	7,4	13,1	80,0	-388,14	0	7,36	72,64	0
Septiembre	15,3	15,1	95,0	-467,82	0	15,32	79,68	0
Octubre	61,5	17,3	100,0	-506,31	0	61,51	38,49	0
<b>TOTAL</b>	<b>1002,35</b>		<b>1320</b>			<b>813,69</b>	<b>506,31</b>	<b>188,66</b>

Fuente: *Elaboración propia*

**Gráfica N° 2** Balance hídrico



**Fuente:** *Elaboración propia*

Para una mejor interpretación y entendimiento se pasa a describir por subcuencas los diferentes pisos altitudinales que varían desde los 1800 hasta los 4614 m.s.n.m.

- SUB CUENCA SOLA

Esta subcuenta está orientada al noreste, es el sector más alto del ambiente morfogénico en montaña estructural alta, entre las cotas 2100 a 4600 msnm con una diferencia altitudinal de 2500 msnm, se encuentra con diferentes pisos altitudinales de montano a alpino presentando un clima muy frío húmedo con una temperatura media anual de 8°C, esta zona abarca unas isoyetas de 700 hasta 1200 mm, siendo esta una subcuenta con mayor estabilidad hídrica en relación a las otras, presentando en su balance hídrico una media de 1.8 mm, por el cerro San Antonio nos presenta una mínima de 1.1 mm y una máxima de 3.1 mm en la parte alta en los cerros Negro de Chismuri, cerro Pisacayoj y Abra de Calderilla, se podría decir que esta sub cuenca que tiene mayor aporte en

precipitación de toda la cuenca de Tolomosa, presentando una superficie de 15276,43 ha.

- SUBCUENCA DE PINOS

Esta sub cuenca está ubicada al sudeste, corresponde al sector central de la cuenca de Tolomosa, donde se ubican 3 comunidades, Pinos Sud, Pinos Norte y Bella Vista, ocupa el 34,98 % de la superficie total con un paisaje de ladera de la formación Sama donde se encuentran los pequeños bosques andinos de la especie pino del cerro, está entre las cotas 2000 msnm hasta los 3000 msnm llevando a formar parte del piso altitudinal montano y subalpino. Esta sub cuenca presenta dos tipos de clima, varía entre el clima de la zona de valle que es templado semiárido con una temperatura media anual de 17°C y el clima de la zona más alta con un clima muy frio semihúmedo, con una temperatura media anual de 14° C, abarca por las isoyetas de 900 mm hasta los 1200mm. Siguiendo la anterior sub cuenca esta presenta un balance hídrico con una media de 1,3 mm, por el cerro San Antonio nos muestra una mínima de 1.1 y la parte más alta que estaría por los cerros Inga y cerro Filo Grande nos presenta su máxima de 1,6

- SUBCUENCA MENA

Esta subcuenca está ubicada al sudeste de la cuenca, corresponde a las zonas bajas, llanuras fluvio – lacustres tiene una superficie de 6544,72 haciendo el 15% del área de estudio la mayor parte de la superficie del área está destinada al pastoreo extensivo, en esta área se encuentran las comunidades pampa Redonda en la parte sur, Churquis en la parte central y Pantipampa, con una gradiente altitudinal que varía de 2000 a 2300 msnm correspondiendo al piso montano, presenta un clima templado semiárido con una temperatura media anual de 17°C y una precipitación media de 600 a 800 mm.

Esta subcuenca presenta un balance hídrico diferencia con un deficit hídrico en la parte baja en los cerros de Abra de San Jacinto y Abra de Pantipampa con un valor de 0.7 y en el cerro Huacas y Abra del puesto presenta una estabilidad hídrica llegando a 1 y al sur de la subcuenca teniendo un leve exceso de 1.2.

- AFLUENTES AL EMBALSE

Esta subcuenca está ubicada al norte y al noreste, conformada por los afluentes que van directo al embalse San Jacinto, tiene una superficie de 13424,28 ha haciendo un % de 30,74 del total de toda la cuenca, está compuesta por la quebrada Tablada Grande, río Seco, río Molino, río San Andrés y río Tolomosa, corresponde a las llanuras fluvio – lacustres, afectadas por la erosión extrema en cárcavas asociadas en las terrazas aluviales, presenta erosión laminar ligera en forma localizada y erosión en riveras en algunos sectores, predomina la agricultura con riego y secano presentes en un desnivel altitudinal entre 1800 a 2100 msnm.

Tiene un clima templado semiárido con una precipitación media anual de 800 mm y una temperatura de 17°C este clima siendo característico en las zonas de los valles.

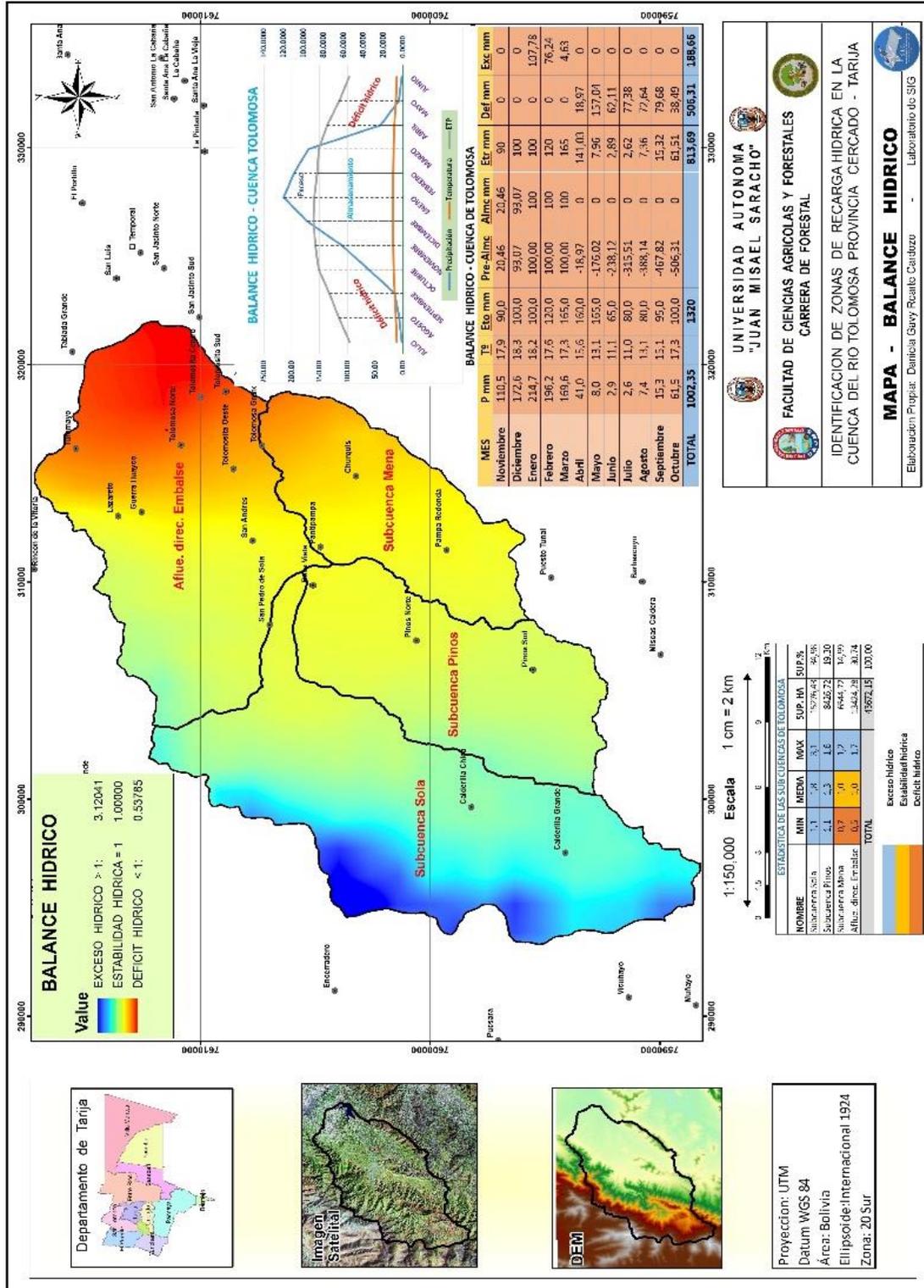
Presenta un balance hídrico diferencia con un déficit hídrico en la parte baja en el cerro Filo San Jacinto, alrededor de la comunidad San Jacinto Sud y Tolomosita Sud con un valor de 0.5 y en la parte central de la subcuenca presente las comunidades de San Andrés, Tolomosa Norte y Tolomosita Oeste. Presenta una estabilidad hídrica con valor 1 y al noroeste en la parte alta de la sub cuenca por el cerro Larga Loma entre las cotas 2700 a 3400 presenta un exceso hídrico de 1.7 ver: cuadro N°10

**Cuadro N° 11** estadística de las subcuencas de TOLOMOSA

ESTADÍSTICA DE LAS SUB CUENCAS DE TOLOMOSA					
NOMBRE	MIN	MEDIA	MAX	SUP. HA	SUP.%
Subcuenca Sola	1,1	1,8	3,1	15276,43	34,98
Subcuenca Pinos	1,1	1,3	1,6	8426,72	19,30
Subcuenca Mena	0,7	1,0	1,2	6544,72	14,99
Aflue. direc. Embalse	0,5	1,0	1,7	13424,28	30,74
<b>TOTAL</b>				43672,15	100,00
					

**Fuente:** *Elaboración propia*

# Mapa N° 8 MAPA DE BALANCE HÍDRICO



Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

- Se llegó a la conclusión que en nuestra zona de estudio presenta una variación altitudinal, con diferentes tipos de cobertura vegetal y diferentes formaciones geológicas donde nos permite combinar adecuadamente la metodología participativa del CATIE para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica basados en la ecuación propuesta por Matus Silva que considera sus 5 variables de mapas temáticos, mapa de pendiente, micro relieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso actual del suelo.
- Se llegó a la conclusión que la utilización de los SIG (sistemas de información geográfica) permite el procesamiento y manipulación de datos para obtener información útil, eficaz, organizada de los datos previamente ingresados con referencias geográficas de las variables propuestas, para los fines de una mejor identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.
- Se llegó a la conclusión que los datos de wordclim mediante sus variables de temperatura y precipitación son eficientes en sus datos para superficies grandes mayores a 10000 ha.
- Se llegó a la conclusión que la cuenca de Tolomosa presenta una estabilidad hídrica por los meses de noviembre a marzo presentando una recarga de almacenamiento y entre los meses de enero a marzo presenta un exceso hídrico de 188,66 mm/año.
- ❖ Se concluyó la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica en la cuenca de Tolomosa con 4 unidades de recarga identificada, empezamos por la unidad de recarga hídrica muy alta (5), esta unidad presenta menor superficie en la cuenca pero es la que tiene un mayor potencial de recarga hídrica con 1064.08 ha, haciendo el 2,4% del total de la cuenca distribuidos en pequeñas fajas angostas y estrechas en las laderas y fondos de valles, seguido tenemos la unidad de recarga alta (4), esta es la unidad de mayor porcentaje en superficie con el 51% en la cuenca, formando una superficie de 22252.09 ha, se distribuye en todos los pisos altitudinales de la cuenca montano, alpino y subalpino,

continuando se obtuvo la unidad de recarga moderada (3) es la segunda más grande en superficie, siendo el 40.9 % presentando una superficie 17878.13 ha distribuido en la parte alta en menor superficie y en la parte baja de las sub cuencas afluentes al embalse, constituidos por depósitos fluvio – lacustres.

Por último tenemos la unidad de recarga baja (2) con un porcentaje de 5,7%, haciendo una superficie de 2477.85, se localizan en piedemontes y terrazas aluviales corresponde al piso montano.

## **RECOMENDACIONES**

Es cada vez más fuerte el convencimiento de que nos encontramos inmersos en una grave crisis en relación a los recursos naturales, escasez de agua para consumo humano, riego, debido a la degradación de los suelos por el mal manejo de la tierra y la pérdida de la vegetación, por lo tanto es importante mencionar las siguientes recomendaciones:

- Es importante realizar las pruebas de infiltración al finalizar la época lluviosa en la cuenca, ya que, es necesario un suelo saturado para obtener datos certeros sobre la velocidad de infiltración de cada tipo de textura de suelo en la cuenca de Tolomosa.
- Identificar los puntos de salida del agua (vertientes), mediante mapas temáticos para poder realizar cosechas de agua para el consumo humano.
- Tomar acciones de protección y manejo de carácter forestal, hídrico, de conservación de suelos y de educación ambiental para la población comunitaria, realizando plantaciones en zonas que carecen de recarga hídrica para mejorar la permeabilidad del suelo.
- Controlar el uso inadecuado de las tierras en zonas que constituyen áreas de aporte a las aguas subterráneas y también que la entidad encargada de salvaguardar el área de protección y conservación de la reserva biológica de la cordillera de Sama realice más controles.
- La elaboración de medidas o estrategias para reducir la vulnerabilidad existente dentro de la cuenca, deberá ser una priorización para las autoridades tanto

nacionales presentes en el área como municipales a fin de asegurar la sostenibilidad del recurso agua en la actualidad y futuro de la población tarijeña.