

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

La cuenca el Campanario “Río Grande”, se encuentra en el municipio de Padcaya, de la que forma parte las comunidades de Alisos del Carmen, Orozas Centro, Orozas Abajo, Cebolla Waykho, Rumicancha, Merced, Honduras, Guayabillas, Cachimayo, San Francisco chico, Rio Negro y Santa Clara misma que son parte de la cuenca de Orozas y a su vez tributa a la cuenca de Río Bermejo.

En esta cuenca, el déficit hídrico se ha constituido uno de los principales problemas, sumado a esto, el acceso desigual de este recurso para consumo humano y riego para sus unidades productivas. Entre las principales causas de escasez de agua se debe a la degradación de los sistemas reguladores en la parte alta de la cuenca, por la deforestación, demanda forestal recurrente, ganadería extensiva, así como la contaminación por uso inadecuado negativamente por agroquímicos, entre otros que inciden en la calidad del agua en la cuenca Campanario Río Grande.

Otro de los problemas que merecen destacar; es el desconocimiento de las áreas potenciales de recarga y las estimaciones de disponibilidad, parámetros que son importantes cuando se trata de encarar proyectos para una gestión sostenible del agua. En este sentido, el presente trabajo pretende contribuir a la sostenibilidad de las zonas de recarga hídrica de modo que los resultados coadyuven a implementar acciones tendientes a asegurar las áreas de recarga, sigan cumpliendo con la provisión de las funciones ecológicas en la cuenca Campanario Río Grande.

Por tanto, es necesario determinar el estado actual de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico, así como la presión por la demanda del mismo, teniendo en cuenta su distribución espacial y temporal, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

Justificación.

Los sistemas montañosos de Guayabillas albergan una riqueza muy particular, con bosques que proporcionan agua para importantes centros poblados como Honduras, Guayabillas, la Merced, Cachimayo, San Francisco, Cachimayo, Río Negro y Santa Clara; cumplen la función de regulación hídrica y también el suministro de este líquido a todas las comunidades localizadas en sus proximidades y entre otras.

Por esta razón es importante conocer los caudales de oferta y demanda de la cuenca Campanario Río Grande, especialmente en épocas de estiaje constituyen una herramienta fundamental para definir su uso como fuente superficial de abastecimiento de agua para varias comunidades de los municipios de Arce.

Sin embargo, los pobladores locales, siguen haciendo prácticas de extracciones de árboles, como también el efecto de la agricultura migratoria, la ganadería extensiva y los incorrectos usos del suelo están provocando la degradación de la cuenca.

Esto destaca la importancia de estas medidas que están enfocadas en el manejo sustentable del agua subterránea. Esta problemática desencadena una distribución desigual en el acceso al agua, donde los sectores productivos con mayores recursos económicos son los dominantes. La carencia de esta información impide garantizar un manejo sostenible de los recursos.

Por otra parte, no se cuenta para la zona un estudio detallado enfocado a la delimitación de las zonas de recarga hídrica de esta zona o cuenca pedagógica y a la evaluación de su cobertura vegetal en términos hidrológicos. En este sentido, la presente investigación pretende llenar este vacío y alcanzar los objetivos propuestos, y generar información muy valiosa con la intención de proporcionar pautas para la protección y conservación de la zona.

1.1.Planteamiento del problema.

¿Dónde se encuentran las zonas de recarga hídrica en el área comprendida de la Cuenca Campanario “Río Grande”?

1.2.Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

Identificar las zonas de recarga hídrica potencial de los acuíferos en la Cuenca Campanario, Río Grande, (Provincia Arce - Tarija) empleando variables biofísicas y sistema de información geográfico, para aportar al proceso de planificación de manejo y gestión del agua en la cuenca.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Determinar los parámetros morfométricos de la cuenca relacionados con la recarga hídrica.
- Identificar las zonas de recargas hídricas en la cuenca Campanario Río Grande, mediante la integración de variables biofísicas (uso de la tierra, cobertura permanente, tipo de roca, tipo de suelo y tipo de relieve), con el uso del sistema de información geográfico.
- Calcular el balance hídrico de la cuenca Campanario Río Grande, utilizando los datos de estaciones y variables bioclimáticas, empleando la metodología de Holdridge, para estimar la disponibilidad de agua de la cuenca Campanario Río Grande.

1.3.Hipótesis de la investigación.

“La generación de Balance hídrico y recarga hídrica potencial de la Cuenca, nos refleja el estado actual de cuenca en sentido de almacenamiento, y recarga potencial, en sus diferentes partes de la cuenca”.

CAPÍTULO II
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ciclo hidrológico

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra. Chereque, 1989, 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.). (Ordoñez J. 2011)

2.1.1. Precipitación.

Precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo. (También rocío y escarcha que en algunas regiones constituyen una parte pequeña pero apreciable de la precipitación total).

2.1.2. Evaporación.

Se define como el proceso mediante el cual se convierte el agua líquida en el estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible. También se requiere que la humedad de la atmósfera sea menor que la superficie de evaporación. (Gavez, 2011)

2.1.3. Condensación.

Es el cambio en el estado de la materia de vapor a líquido que se produce con el enfriamiento. Normalmente se utiliza en meteorología cuando se habla de la formación de agua líquida de vapor. Este proceso libera energía de calor latente para el medio ambiente. (Gavez, 2011)

2.1.4. Transpiración.

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración.

2.1.5. Escorrentía superficial.

Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que fluye sobre las laderas.

2.1.6. Escorrentía superficial.

Es el agua que ha sido previamente infiltrada y no alcanza el almacenamiento subterráneo o acuífero, por lo tanto, debe ser considerada como parte de la escorrentía.

2.2. Definición de Cuenca.

Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar.

2.3. Cuenca hidrográfica y su importancia.

La cuenca tiene gran importancia, ya que son el espacio geográfico donde interacciona el hombre con el medio ambiente. Todo lo que sucede dentro de los límites de una cuenca es relevante, ya que a disponibilidad, calidad y permanencia de sus recursos naturales dependen del uso del suelo y manejo que se les brinde dentro de ella; el agua, suelos, bosques y demás recursos bióticos son insumos esenciales para la vida y las comunidades que obtienen alimentos, bienes y servicios de ellos. (CONAFOR, 2007)

2.4. Elementos de la Cuenca o Componentes principales de la cuenca

A continuación, se describen los elementos que se consideran en el estudio de una cuenca hidrográfica. (CONAFOR, 2007)

- **Parteaguas.** Limite físico de la cuenca que define la dirección de los escurrimientos superficiales, es determinado por el trazo de una línea imaginaria a partir de la boquilla o parte más baja y prolongándola por el filo de mayor elevación del área de confluencia, cuidando que los escurrimientos superficiales concurren hacia e punto de salida hasta llegar a la boquilla.

- **Vertientes o laderas.** Área donde se presenta el impacto de las gotas de lluvia, produciendo escurrimiento que son las fuentes de abastecimiento de las corrientes superficiales.
- **Boquilla.** Es la parte más baja de la cuenca donde los escurrimientos superficiales convergen en un punto sobre la corriente principal.
- **Red de drenaje.** Conjunto de afluentes naturales por donde circulan las corrientes de agua superficial. Se compone de un cause principal y de afluentes.
- **Tipo de drenaje.** Es el resultado de la influencia que tienen los suelos. Los sistemas de drenaje más comunes son: déndrico, enrejado o rastrillo, radial, paralelo, anular y rectangular.

2.5. Partes de una Cuenca

De manera genérica, las partes que se consideran para describir y caracterizar una cuenca hidrográfica, son tres:

- **Cuenca alta** o cabecera de cuenca, es la parte más alta, donde nacen o se originan los ríos y quebradas. Es la zona de donde existe una mayor concentración de áreas de recarga hídrica y, por tanto, la zona de mayor captación del agua de lluvia.
- **Cuenca media** es la zona de mayor pendiente. Si bien también importante en cuanto a la captación de agua de lluvia, es la encargada de transportar el agua proveniente desde la zona alta hacia la parte baja, por tanto, es donde se concentra la mayor densidad hídrica conformada por lagunas, ríos, quebradas y vertientes, es decir las fuentes de agua.
- **Cuenca baja** es la zona más caudalosa pues concentra la mayor cantidad de agua proveniente de las otras dos zonas. Es un sitio de más de aprovechamiento por excelencia. (Villaruel, 2019)

2.6. Manejo integral de cuencas (MIC)

Es el conjunto de acciones que se realizan para proteger, conservar, utilizar, aprovechar, manejar y rehabilitar adecuadamente los recursos naturales en las cuencas

hidrográficas de acuerdo a los enfoques sistémico, socioambiental, integral, multi e interdisciplinario, multi e intersectorial y del agua como recurso integrador de la cuenca. (Jiménez 2009).

El manejo integrado de cuencas hidrográficas es un proceso interactivo de decisiones sobre los usos y las modificaciones a los recursos naturales dentro de una cuenca. Este proceso provee la oportunidad de hacer un balance entre los diferentes usos que se le pueden dar a los recursos naturales y los impactos que estos tienen en el largo plazo para la sostenibilidad de los recursos. Un enfoque básico de manejo de cuencas es reducir la vulnerabilidad socio ambiental. (Jiménez 2009).

2.7. Zonas de recarga hídrica

Se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero, agua procedente del exterior del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (la más importante en general) y de las aguas superficiales (importantes en climas poco lluviosos), hasta la transferencia de agua desde otro acuífero, si los mismos son externos al acuífero o sistemas de acuíferos en consideración (Custodio 1998).

El grado de deterioro de las zonas de recarga está determinado por el grado de erosión de los suelos, compactación y la deforestación, sobre todo en zonas de pendientes muy inclinadas que favorecen la escorrentía. Esta situación está siendo causada por la intervención del ser humano para desarrollar actividades agrícolas, industriales, extracción de leña, construcción de viviendas y actividades pecuarias, en sitios no apropiados (Faustino 2006).

2.8. Oferta y demanda del agua para uso humano

El incremento de la demanda de bienes y servicios que requieren uso abundante de agua genera las mayores fuentes de presión sobre la disponibilidad y calidad de este recurso. La concentración de la población y la actividad económica del país en las cuencas inciden sobre el proceso de deforestación, la tendencia al mal uso de la tierra, la aceleración de la erosión y sedimentación, la contaminación de los cursos de agua, y la alteración del régimen hidrológico de las cuencas (ANAM 2004).

2.9. Factores que afectan la recarga hídrica

Según INAB (2004), la razón de recarga de un depósito de agua subterránea depende del régimen de precipitación, de la escorrentía superficial y del caudal de los ríos, asimismo varía de acuerdo con la permeabilidad del suelo y de los otros materiales a través de los cuales debe percolar para alcanzar la zona de saturación.

La oportunidad de infiltrar depende en mucho de la condición del suelo, su contenido de humedad y de la duración de la lluvia y del patrón de drenaje en la cuenca, asimismo, la pendiente de la superficie.

2.10. Acuífero

Es aquel estrato o formación geológica que, permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (Custodio 1998).

Como acuífero se entiende la parte saturada del perfil del suelo y que tiene la facilidad de almacenar y transmitir el agua. (Villón 2004)

2.11. Balance Hídrico

Es el estudio de la estructura y funcionamiento de las cuencas superficiales y subterráneas, cuerpos de agua y ríos; es fundamental para la gestión del agua en el espacio y el tiempo. A partir del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre.

2.12. Balance hídrico y su importancia en el estudio de la cuenca

Permitirá conocer la estructura y su funcionamiento. Dicha información podrá ser utilizada principalmente en beneficio de los habitantes de la cuenca en diferentes tipos de contextos como el ordenamiento territorial, políticas públicas en la gestión de recursos hídricos, estudios ambientales y ecológicos, entre otros.

2.13. Estimación de balance hídrico.

El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de la continuidad. Esta,

establece que, para cualquier volumen arbitrario, y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada. (Rosales, 2012)

2.14. Año hidrológico

Período continuo de doce meses seleccionados de manera que los cambios globales en el almacenamiento sean mínimos, por lo que la cantidad sobrante de un año al siguiente, se reduce al mínimo. En el Perú, el año hidrológico empieza en septiembre y termina en agosto del año siguiente. (Ordoñez, 2011)

2.15. Morfometría de cuencas hidrográficas

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella. Los parámetros Morfométricos de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control. Según (Gaspari, 2012) El análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo. (Lux Cardona, 2016)

- **Área.** Es la superficie interior limitada por el parteaguas.
- **Perímetro.** Se refiere a la longitud del parteaguas, se cuantifica haciendo coincidir un hilo por la línea que define la cuenca.
- **Longitud de la cuenca.** Es la distancia en línea recta entre punto más alejado y la parte más baja o boquilla de cuenca.
- **Intervalo de altitud.** Se refiere a la diferencia de altitud entre el punto más alto de la cuenca y la boquilla de la misma o un punto más bajo.
- **Pendiente de la cuenca.** Grado de inclinación que existe entre el punto más bajo y más alto de la cuenca.

CAPÍTULO III
MATERIALES Y METODOLOGÍA

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA

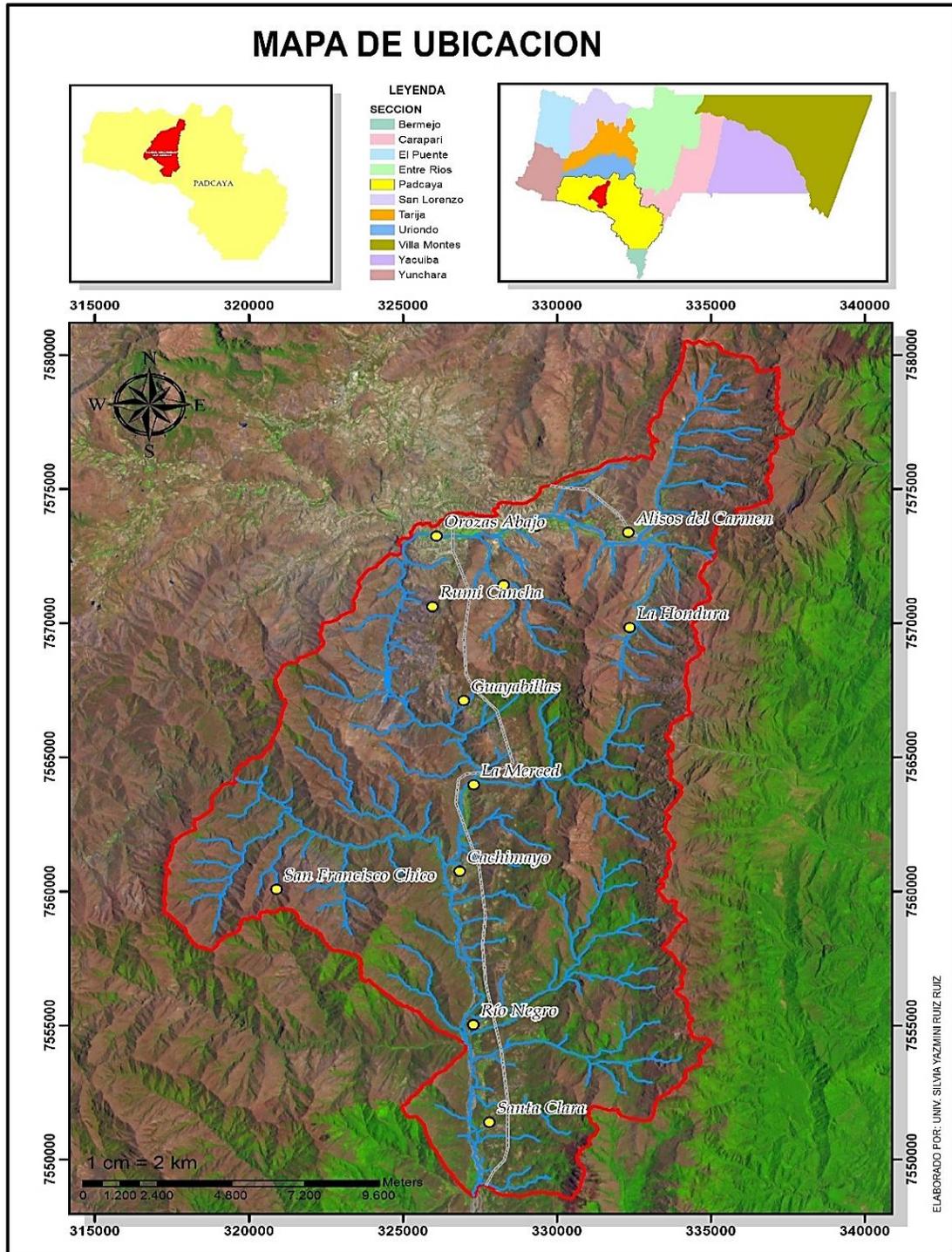
3.1. Zona de estudio

3.1.1. Ubicación

El presente trabajo se realizó en la “Cuenca Campanario-Río Grande Municipio de Padcaya–Tarija”, se ubica en el Departamento de Tarija, Provincia Arce, Municipio de Padcaya, en las comunidades de Alisos del Carmen, Orozas Centro, Orozas Abajo, Cebolla Waykho, Rumicancha, Merced, Honduras, Guayabillas, Cachimayo, San Francisco chico, Río Negro y Santa Clara. A una distancia de 76 Km desde la capital del departamento de Tarija. Para llegar hasta la zona de intervención, se debe tomar el camino Tarija-Bermejo para ingresar Comunidad de La Merced.

Geográficamente se encuentra ubicada entre los paralelos $21^{\circ}52'17.60''$ - $22^{\circ}4'40.50''$ de Latitud Sur y meridianos $64^{\circ}34'19.66''$ - $64^{\circ}46'17.58''$ de Longitud Oeste y una altitud media de 1914 m.s.n.m.

Mapa N°1. Localización la Cuenca Campanario-Rio Grande Municipio de Padcaya



Fuente: *Elaboración propia.*

3.2. Características generales de la zona

3.2.1. Geológica y Geomorfológica:

Desde el punto de vista estructural, el municipio de Padcaya, muestra dos estilos tectónicos bien definidos que corresponden a las provincias geológicas de Cordillera Oriental y Sierras Subandinas.

Así en la parte occidental los rasgos morfológicos principales están reflejados en los imponentes elementos orográfico-estructurales de Tajzara-Sama y Ñauparuna-El Cóndor, emplazados en los bordes O y E del valle de Padcaya con altitudes de 4.000 y 3.000 msnm. y otros de menor altitud pero con caracteres muy distintivos como los de Cañas-Cabildo que muestran un relieve invertido en estructuras sinclinales buzantes. (PDM –Padcaya 2015-2019)

3.2.2. Características Edáficas

Tipos de suelo

Las características físicas de los suelos varían de acuerdo a la posición fisiográfica en que se encuentren, los suelos ubicados en los complejos montañosos son poco profundos, generalmente tienen un contacto lítico próximo y se evidencia presencia de afloramientos rocosos, siendo su textura de pesada a mediana.

Los suelos ubicados en la zona de pie de monte y terrazas aluviales son de moderadamente profundos a profundos, la textura es de media a liviana en los horizontes superiores y más pesada en los horizontes profundos, particularmente en las terrazas subcrecientes. (PDM –Padcaya 2015-2019)

3.2.3. Características Climáticas

En general, el verano se caracteriza principalmente por una temperatura y humedad relativa alta y masas de aire inestables, produciéndose precipitaciones aisladas de alta intensidad y corta duración.

Por otro lado, el invierno se caracteriza por temperaturas y humedad relativa generalmente bajas y la ausencia de precipitaciones, asociadas a la llegada de frentes

fríos provenientes del sur, llamados "surazos", que traen consigo masas de aire frío, dando lugar a veces a precipitaciones de muy baja intensidad y de larga duración.

La temperatura media anual es de 16.7 °C, con una máxima y mínima promedio de 24.6 °C y 8.8 °C respectivamente. Los días con helada se registran en los meses de mayo a septiembre. La humedad relativa promedio es de 67%. La dirección del viento predominante es el Sur - Este con velocidades promedio de 2.6 Km/hr.

Las precipitaciones pluviales totales anuales, oscilan de 1,0 mm en el mes de julio a una máxima de 145,4 mm en el mes de enero; identificándose dos periodos: un periodo seco que abarca los meses de mayo a septiembre y un periodo húmedo en los meses de octubre a abril. (PDM –Padcaya 2015-2019).

3.2.4. Características de la flora y fauna

3.2.4.1.Flora

Tipos y superficies de cobertura forestal (bosques y matorrales)

Desde hace varias décadas, la explotación forestal en el municipio es generalmente de tipo familiar y/o comunal, principalmente la leña como combustible, siendo esta explotación en forma irracional sin un adecuado control y manejo de bosques, problema que se agudiza aún más por los desmontes y chaqueos para la actividad agrícola, lo que origina que se acelere el proceso erosivo.

El SERNAP mediante la Reserva Nacional de Flora y Fauna Tariquía, ha realizado estudios acerca de las especies forestales existentes en la zona, esto permitió conocer realmente que especies y en que variedades se puede aprovechar los recursos forestales. PDM Padcaya 2015-2019.

3.2.4.2.Fauna

En el municipio de Padcaya, existe una gran diversidad de especies de animales silvestres, entre mamíferos, aves, reptiles y peces, algunos de ellos en peligro de extinción, donde se observa fauna diversa en mayor cantidad es en la Reserva de Tariquía, la cual tiene sus atractivos turísticos basados principalmente en Recursos Naturales y Medio Ambiente. PDM Padcaya 2015-2019.

3.3. Materiales

3.3.1. Materiales de campo

- Cámara fotográfica
- Planillas de campo
- GPS

3.3.2. Material de escritorio

- Computadora
 - Imágenes satelitales
 - Mapa base
 - Software ArcGis
 - Software Google Earth Pro
 - SasPlanet
- Impresora
- Plotter – mapas temático

3.4. Metodología

3.4.1. Descripción y determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca.

3.4.1.1. Área:

Es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. El sitio que recoge toda la escorrentía que se produce en una cuenca hidrográfica se denomina punto de concentración o punto de cierre de la cuenca.

Para determinar el área se procede a la aplicación del uso del software Arc Gis.

Las cuencas por su tamaño se les puede clasificar como:

Cuadro N° 1: Tamaño de Cuencas

Carácter	Área (km ²)
Pequeñas	< de 50
Medianas	50 a 150
Grandes	> de 150

3.4.1.2. Perímetro:

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea divisoria de la cuenca es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula P.

3.4.1.3. Parámetro de Forma:

Longitud axial (La):

Es la longitud de una línea recta con dirección “paralela” al cauce principal.

Ancho máximo:

Es la longitud perpendicular a la línea recta con dirección “paralela” al cauce principal.

Ancho medio:

Es la relación entre la superficie de la cuenca con **La**.

$$Ap = \frac{A}{La}$$

Ap.: Ancho promedio (km).

A: área: km²

La: Longitud Axial (km).

Factor de Forma:

Este factor adimensional que indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial. Se expresa como la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud axial o longitud del río hasta su punto más alto (Jardí, 1985); López Cadenas de Llano, 1998). Manifiesta la tendencia de la cuenca hacia las crecidas. Cuando IF es similar a 1, representa una cuenca de forma redondeada. La cuenca con IF bajo, se caracteriza por ser una cuenca alargada, que con un colector de mayor longitud que la totalidad de los tributarios, estará sujeta a crecientes de menor magnitud. Una cuenca

de forma triangular, con dos vértices en las cabeceras, afluentes de similar longitud y sincronismo en la llegada, provocará crecidas más significativas.

$$IF = \frac{Ap}{La^2}$$

IF: Índice de forma. Factor adimensional

Ap.: Ancho promedio (km).

La: Longitud Axial (km).

Coefficiente de compacidad:

El límite define la forma y la superficie que abarca la cuenca vertiente, teniendo influencia sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación (López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987).

En base a la cuantificación se distinguen tres tipos o clases de formas, según el índice de compacidad o coeficiente de Gravelius:

Cuadro N° 2: Valores de Cc

Valores de “K”	Valores de “K” Tipos o clases de formas
de 1.00 a 1.25	de casi redonda a oval redonda
de 1.26 a 1.50	de oval redonda a oval oblonga
de 1.51 a 1.75	de oval oblonga a rectangular oblonga

$$Cc = \frac{0,282 * P}{\sqrt{A}}$$

Cc K: coeficiente de compacidad o de Gravelius, adimensional

P: perímetro de la cuenca, en kilómetros

A: área de la cuenca, en kilómetros cuadrados

Índice de alargamiento:

Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal, y el ancho máximo de ella. Éste define si la cuenca es alargada, cuando su valor es

mucho mayor a la unidad, o si es muy achatada, cuando son valores menores a la unidad.

$$IA = \frac{L}{An}$$

Donde:

IA: Índice de alargamiento

L = longitud de la cuenca

An = ancho de la cuenca

Cuadro N° 3: Índice de alargamiento.

Kf	Característica
IA >1	Cuenca alargada
IA <1	Cuenca achatada y por lo tanto el cauce principal es corto

3.4.1.4. Parámetros relativos al relieve:

Pendiente de la cuenca hidrográfica.

La pendiente de la cuenca, es un parámetro muy importante en el estudio de toda la cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en relación a las crecidas.

La pendiente de la cuenca es la relación del desnivel que existe entre los extremos de la cuenca, siendo la cota mayor y la cota menor, y la proyección horizontal de su longitud, siendo el lado más largo de la cuenca. Villon, (2002).

Pendiente media de la cuenca

$$S = \frac{2H}{P}$$

Donde:

S= Pendiente media de la cuenca

H = Diferencia de cota

P = Perímetro de la cuenca

Cuadro N° 4: Clasificación de la pendiente media de la cuenca

Clases de valores de pendiente media de la cuenca (%)	
Rangos de pendiente	Clases
0 – 2	Plano o casi a nivel
2 – 4	Ligeramente inclinado
4- 8	Moderadamente inclinado
8- 15	Fuerte mente inclinado
15 – 25	Moderadamente empinado
25 – 50	Empinado
50 – 75	Muy empinado
>75	Extremadamente empinado

Fuente: (INE) Instituto Nacional de Ecología

Pendiente del cauce principal

El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca, es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento de recurso hídrico, como por ejemplo, para la determinación de las características óptimas de su aprovechamiento hidroeléctrico, o en la solución de problemas de inundaciones.

Se determina según la relación entre el desnivel que hay entre los extremos el cauce y la proyección horizontal de su longitud. Villon, (2002).

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

S: Pendiente media del cauce

H: Desnivel entre los puntos más elevado y más bajo

L: Longitud del cauce

Cuadro N° 5: Clasificación de la pendiente del cauce principal

Rango	Termino Descriptivo
0-2%	Plano o casi a nivel
2 - 4 %	Ligeramente inclinado
4 - 8 %	Moderadamente inclinado
8 - 15 %	Fuertemente inclinado
15 - 25 %	Moderadamente empinado
25 - 50 %	Empinado
50 - 75 %	Muy empinado
> 75 %	Extremadamente empinado

Fuente: EL PERUANO 2009

La forma de cuantificar el relieve de una cuenca es mediante la curva hipsométrica, definida por la distribución de las elevaciones de la cuenca utilizando curvas de igual altitud. Se caracterizó la proporción de la superficie total de la cuenca comprendida entre 2 curvas adyacentes Benítez Chunga, (1978).

De esta forma se refleja el estado de equilibrio dinámico y el potencial erosivo del sistema.

Densidad de drenaje

La densidad de drenaje, es un parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en la cuenca. También da una idea sobre el grado de cobertura que existe en la cuenca. Valores altos de drenaje, representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables. Por el contrario, valores bajos, indican suelos duros, poco erosionables o muy permeables y coberturas vegetales densa Villon, (2002). Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua dentro de la cuenca y el área total de ésta:

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Donde

D_d = Densidad de drenaje

L= Longitud total de las corrientes

A= Área total de la cuenca

Cuadro N° 6: Clasificación de la densidad de drenaje

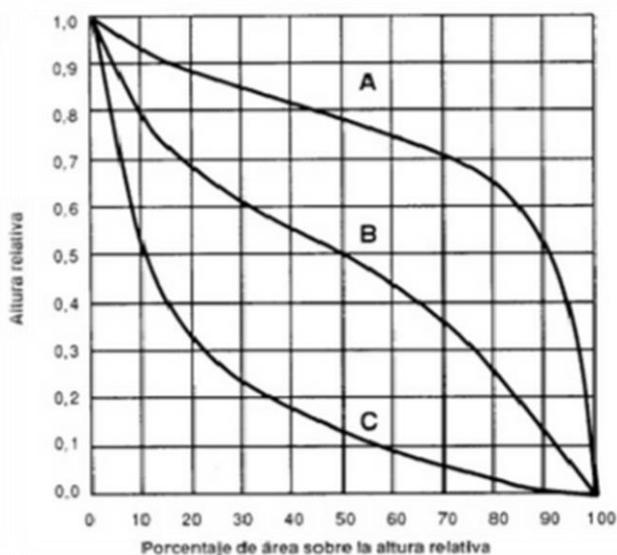
Clases de densidad de drenaje	
Rangos de densidad	Clases
1-1.8	Baja
1.9-3.6	Moderada
3.7-5.6	Alta

Fuente: (INE) Instituto Nacional de Ecología

Curva hipsométrica:

Es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, por medio de una curva tal, que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por encima de esa altura.

Figura N° 1. Curva Hipsométrica



Curva A: refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud).

Curva B: es una cuenca en equilibrio (fase de madurez).

Curva C: es una cuenca sedimentaria (fase de vejez).

3.4.2. Determinación de la recarga hídrica

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 en 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 ha basado 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

TS: Tipo de suelo

TR: Tipo de roca

Cve: Cobertura vegetal permanente

US: Usos del suelo

Donde:

ZR: Potencial De Recarga

Pendiente (Resultado obtenido a base del mapa de pendientes).

Textura del suelo (A partir de la digitalización de la toma de muestras de suelo del área de estudio)

Geología (A partir del mapa de hojas geológicas)

Cobertura (Resultado obtenido del % del suelo cubierto por vegetación permanente)

Uso de la tierra (A partir de la digitalización del terreno a escala de 1:10.000)

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 profesional. Por lo anterior, la variable “Tipo de suelo” es sustituida por la variable

“Textura del suelo” donde se tomó 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.

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 se multiplico por 100 para transformar en entero y poder trabajar en el Weighted Overlay del Software de ArcGis 10 4.1

Sin embargo, se establece el procedimiento que se debería 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, práctica y bajo condiciones de pocos recursos financieros y de tiempo disponibles.

Figura N°2. Esquema Metodológico, propuesto a seguir para caracterización e identificación de las zonas potenciales de recarga hídricas:



Fase de gabinete inicial

La primera fase del área de estudio comprendió en la delimitación de la cuenca y el procesamiento de datos utilizando las herramientas del software de ArcGis 10 4.1, con la finalidad de elaborar los mapas preliminares de pendientes, cobertura y uso de la tierra aplicando las ponderaciones posibles de la recarga hídrica presentadas en los Cuadros ...

Delimitación del área de estudio

Se delimitó el área de estudio, que en este caso es la cuenca campanario Río Grande. El procedimiento de datos que se realizó a partir del “DEM” Modelo Digital de Terreno del ASTER GDEM bajado de la plataforma earthexplorer.usgs.gov.

Este modelo se adquirió en formato GeoTiff y coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator Zona 20S), bajo el sistema de referencia WGS84, con una resolución de 30 m/píxel.

Imagen satelital del servidor Bing Maps, proporcionado por el software SAS PLANET siendo estas imágenes satelitales de alta resolución también con el servidor cbers-4 con una resolución espacial de 2m/pixel.

3.4.2.1. Mapa de cobertura y uso de la tierra

Una vez delimitada la cuenca se procedió a la generación de los mapas de cobertura vegetal y el uso actual de la tierra mediante las imágenes satelitales Lansatd 8 combinando sus bandas 6, 5, 4 haciendo una combinación real para cobertura.

Se aplicó el método no supervisado con el software Arcgis con la herramienta del Spatial Analysis Tools, ingresando a la ventana Iso Cluster Unsupervised Classification donde se dio las clases o categorías de uso actual de la tierra de acuerdo al tono que refleja la imagen satelital (uso forestal, uso agrosilvopastoril, agropecuario extensivo e intensivo, etc). Se hizo la reclasificación para la posibilidad de recarga dándole ponderaciones de Acuerdo a CATIE Cuadro 7.

Cuadro N° 7: 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

(CATIE, 2010).

3.4.2.2. Mapa de pendientes

Se cargó el modelo digital del terreno de la cuenca S23W065, donde se cortó el perímetro de la cuenca, se va al Arctoolbox (caja de herramientas). Luego a Spatial Analyst Tool, abrimos y nos vamos a Surface y elegimos Slope, abrir o cargar la cuenca “Dem” damos salida de mapa pendiente.

Se reclasificó ingresando en la ventana Reclass, Reclassify y dando las 5 categorías de acuerdo al cuadro de pendiente propuesto por Matus Silva.

En la elaboración del mapa de pendientes se utilizó el modelo de elevación digital de la cuenca. Utilizando ArcGis 10 4.1 haciendo el procesamiento de datos y la clasificación de la posibilidad recarga hídrica según el grado de pendiente que se observa en la matriz del Cuadro 8.

Cuadro N° 8: Relieve

RELIEVE	PENDIENTE (%)	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
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

(CATIE , 2010).

3.4.2.3. Mapa de texturas de suelo

Para la elaboración del mapa de textura se obtuvieron puntos de muestreo de perfiles de suelos como información secundaria, luego de acuerdo a sus clases de texturas encontradas en la zona de estudio como ser F, FA, FL, etc.

Cuadro N°9: Texturas de suelos

CODIGO	TEXTURA	DESCRIPCION
1	Y	Arcilloso
2	FY	Franco arcilloso
3	FL	Franco limoso
4	F	Franco
5	FA	Franco arenoso

Elaboración propia

Fase de gabinete

A partir de los datos obtenidos en campo fue realizado el procesamiento de los mismos a través de la aplicación de la ecuación de Mathus Silva (2009) utilizando el software ArcGis 10 4.1 para la identificación de zonas de recarga hídrica.

El mapa de texturas de suelo se configuró a partir de los perfiles obtenidos de la información secundaria donde cada una presentaba la cantidad de clases de textura que existen en la zona. Los resultados fueron analizados mediante el uso de la herramienta Spline de ArcGis 10 4.1 donde se logró la interpolación espacial de los resultados individuales para establecer los valores de textura para las áreas intermedias a los lugares muestreados. Según el modelo de texturas del suelo fueron clasificados y ponderados según la matriz que se presenta en el Cuadro 10.

Cuadro N° 10: 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

(CATIE , 2010).

3.4.2.4. Mapa geológico

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 podrían presentar.

La clasificación fue realizada en base a las categorías de la matriz que presentan en el Cuadro 11 para la determinación de los valores ponderados de recarga hídrica del mapa geológico.

Cuadro N° 11: Rocas

ROCAS	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
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

(CATIE, 2010).

3.4.2.5. Mapa de Cobertura permanente

El mapa de cobertura vegetal permanente se refiere al porcentaje de suelo cubierto por dicha cobertura. Para la determinación de la cobertura vegetal, se delimito las unidades de mapeo preliminar de las áreas resultantes.

Se realizó el método no supervisado con el software Arcgis con la herramienta del Spatial Analysis Tools, ingresando a la ventana Iso Cluster Unsupervised Classification donde damos las clases de vegetación obteniendo 9 tipos de unidades de vegetación como ser; bosque denso, bosque semidenso, bosque ralo, matorral xeromórfico, matorral herbáceo, vegetación herbácea con y sin sinusia arbustiva, suelo desnudo, cultivos y áreas antrópicas.

Los resultados obtenidos de la clasificación se ponderaron en base a la matriz presentada en el Cuadro 12 y se obtuvieron los valores para la aplicación de la ecuación general de zonas de recarga hídrica (Manchame, 2011).

Cuadro N° 12: 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

(CATIE , 2010).

Una vez obtenidos todos los valores ponderados para cada variable, esto se ponderó en la aplicación de la ecuación modificada para la determinación del potencial de zonas de recarga hídrica:

$$ZR = 27 (\text{Pendiente}) \pm 23 (\text{Textura de suelo}) \pm 12 (\text{Tipo de Roca}) \pm 25 (\text{Cobertura vegetal}) \pm 13 (\text{Uso de suelo})$$

Los resultados a obtenidos para cada unidad de mapeo resultante fueron comparados y reclasificados en base al Cuadro.

Cuadro 13. Matriz para la determinación del potencial de recarga hídrica.

POSIBILIDAD DE RECARGA	DE VALOR RESULTANTE
Muy alta	4.10 - 5.00
Alta	3.50 – 4.09
Moderada	2.60 – 3.49
Baja	2.00 – 2.59
Muy Baja	0.75 – 2.00

(Matus, 2009).

De la aplicación del Cuadro 13 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 cruzando con la herramienta Weighted Overlay del programa Arc Gis 10 4.1 como variables; textura del suelo, usos de la tierra (a través de la cobertura vegetal), geología y pendiente.

Fase de gabinete final

Por último, se tendrá como resultado las zonas de recarga hídrica definiendo la caracterización de las zonas de recarga hídrica con la finalidad de describir las condiciones que establecen cada una de las zonas en función del relieve, tipo de roca, tipo de suelo, cobertura vegetal, entre otros.

3.4.3. Determinación del balance hídrico potencial:

Definir área de estudio: crear polígono.

Para definir el área de estudio fue necesario crear un polígono de la zona de interés para apreciar mejor la cuenca en estudio y definir características, esta tiene la proyección de WGS_1984 UTM zona S20 Tarija- Bolivia.

La descarga de datos climáticos se la realizó mediante la plataforma <https://power.larc.nasa.gov/beta/data-access-viewer/> (NASA/POWER CERES/MERRA2) con una resolución espacial de 0,5 de latitud x 0,625 grados de longitud y con una escala de tiempo horaria (mm/hr) para este caso nuestras variables serán temperatura y precipitación.

Paso 1: abrir la pestaña de Potencia Punto Único, **elegir la comunidad de usuarios** (agroclimatología).

Paso 2: elegir la opción el promedio temporal (mensual y anual).

Paso 3: seleccionar el área de estudio obteniendo las coordenadas geográficas en latitud y longitud.

Paso 4: seleccionar la fecha de inicio de extensión del tiempo (los años seleccionados son del 1997 al 2017)

Paso 5: seleccionar el formato de archivo de salida, (archivo en el formato del Arcgis)

Paso 6: selección de parámetros (temperatura y precipitación).

Paso 7: exportar los parámetros seleccionados.

3.4.3.1. Método Holdridge

De este método conoceremos 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 que vamos a conocer podemos estimar la porción de agua escurrida y sus variaciones estacionales.

Se carga las variables de Precipitación, de todos los meses y se corta al área de la cuenca Campanario. Se suma en Raster Calculador de la extensión de Map Algebra del Arc tool box

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

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

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

= Mapa Tmedia

La fórmula para determinar la evapotranspiración potencial en milímetros:

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

Fuente: Holdridge, L. R. 1987.

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

= Mapa ETPmedia

3.4.3.2. Determinación del balance hídrico:

Para determinar 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 balance hídrico.

La fórmula para determinar el balance hídrico es:

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

BH: Balance Hídrico

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

ETP: Evapotranspiración potencial por mes (enero a diciembre)

Exceso Hídrico >1

Estabilidad Hídrico = 1

Déficit Hídrico < 1

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSION

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4. RESULTADOS

Es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. El sitio que recoge toda la escorrentía que se produce en una cuenca hidrográfica se denomina punto de concentración o punto de cierre de la cuenca.

4.1. Parámetros Morfométricos:

Cuadro N° 14. Parámetros

<u>PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS DE LA CUENCA</u>		
PARAMETROS BASICOS	Valor	Unidad
Área de una Cuenca (A):	312,90	Km ²
Perimetro de la Cuenca (P):	107,59	Km
Cota minima	1236	m.s.n.m.
Cota maxima	3436	m.s.n.m.
Diferencia Altitudinal	2200	m.
Longitud Total de Cauces (Lt):	319,80	Km
Ancho de la Cuenca (w):	16,29	Km
Longitud Axial	32,72	Km
Altitud		
Altitud mas Frecuente	2006	m.s.n.m.
Altitud de Frecuencia Media	2249	m.s.n.m.
Pendiente		
Pendiente Medio del Cauce Principal	7,11	m
Pendiente Media de la Cuenca	40,90	%
Red Hidrica		
Longitud del Curso Principal	30927,73	m.
Longitud del Curso Principal	30,93	km.
Orden de la Red Hidrica	5	Und
PARAMETROS GENERALES		
Factor de Forma	0,29	Km/Km ²
Coeficiente de Compacidad Gravelius	1,70	
Densidad de Drenaje	1,02	Km/Km ²
Tiempo de Concentracion	2,58	Horas

Para determinar el área se procede a la aplicación del uso del software Arc Gis.

4.1.1. Área:

El área de la Cuenca Pedagógica de Campanario Río Grande es de 312,90 km².

Los valores como el ancho y el largo de la cuenca sirvieron para calcular los datos morfométricos posteriores.

Lo cual el largo determinado de la cuenca fue de 32,72 km y su ancho 16,29 km.

Teniendo en cuenta el cuadro N°1 para poder clasificar el tipo de tamaño que tiene la cuenca, con sus 312,9 km² se considera que la cuenca Pedagógica Campanario “Río Grande” es GRANDE ya que entra en los rangos $>$ de 150 km² (Ver Cuadro N° 1).

4.1.2. Perímetro:

El perímetro, es el contorno de la superficie considerada como límite máximo de la cuenca y este valor es de 107.59 Km.

4.1.3. Longitud del Cauce Principal:

La longitud principal se considera al cauce de mayor longitud dentro de la cuenca, es decir, la longitud del río principal desde el punto más bajo hasta el punto más alto de la cuenca. Este valor es de 30,92 Km.

4.1.4. Parámetro de Forma

Longitud axial:

Esta línea recta con dirección “paralela” al cauce principal del río de la cuenca, se procedió hacer en el arcgis lo cual nos dios como resultado ya mencionado de 32,72 km como se en el mapa de parámetros

Ancho máximo:

Es la longitud perpendicular a la línea recta con dirección “paralela” al cauce principal de la cuenca, el cual nos dio como resultado de 16,29 km.

Ancho medio:

Es la relación entre la superficie de la cuenca con **La**.

$$Ap = \frac{312,9}{32,72} = 9,56 \text{ km}$$

Ap.: Ancho promedio (km).

A: área: km²

La: Longitud Axial (km).

El ancho medio de la cuenca el campanario es de 9,56 km.

Factor fórmico:

$$IF = \frac{Ap}{La^2}$$

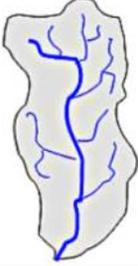
$$IF = \frac{9,56}{(32,72)} = 0,29$$

IF: Índice de forma. Factor adimensional

Ap.: Ancho promedio (km).

La: Longitud Axial (km).

Figura N° 3 Clasificación de los valores de factor de forma

0 - 0,25	0,25 - 0,50	0,50 - 0,75	0,75 - 1
Estrecha	Alargada	Amplia	Ancha
			

Cuando el valor del índice de forma calculada se aproxima a 1; se trata de cuencas con forma redonda, esta forma es considerada crítica por su relación con riesgos de erosión y desbordamiento. En este caso particular, el factor forma de 0.29 se aproxima a cero esto indica que la cuenca tiende a ser *LIGERAMENTE ALARGADA*.

Coefficiente de compacidad:

$$C_c = \frac{0,282 * P}{\sqrt{A}}$$

$$C_c = \frac{0,282 * 107,59}{\sqrt{312,9}} = 1,70$$

Cc K: coeficiente de compacidad o de Gravelius, adimensional

P: perímetro de la cuenca, en kilómetros

A: área de la cuenca, en kilómetros cuadrados

De acuerdo al cuadro N° 2 de valores de coeficiente de compacidad que dio como resultado 1,70 este corresponde o está dentro del rango de 1,51 a 1,75 que es de forma *OVAL OBLONGA A RECTANGULAR OBLONGA*.

Índice de alargamiento:

$$IA = \frac{L}{An}$$

$$IA = \frac{32,72}{16,29} = 2,01$$

Donde:

IA: Índice de alargamiento

L = longitud de la cuenca

An = ancho de la cuenca

Ya dado el resultado del índice de alargamiento que dio como resultado 2,01 que entra al rango > a 1 que se encuentra en el cuadro N° 3, que es una cuenca *ALARGADA* y por lo tanto el cauce principal es largo como se puede apreciar en el mapa de drenaje.

4.1.5. Parámetros relativos al relieve

Pendiente media de la cuenca:

$$S = \frac{2H}{P}$$

$$S = \frac{2 * 2200}{107,59} = 40,90$$

Donde:

S= Pendiente media de la cuenca

H = Diferencia de cota

P = Perímetro de la cuenca

Haciendo el cálculo de la pendiente media con su fórmula respectiva esta se dio como resultado 40,90 la cual logramos verificar en la tabla de pendiente donde este rango obtenido entra en EMPINADO. (Ver cuadro N° 4)

Pendiente del cauce principal:

$$S = \frac{H}{L}$$

$$S = \frac{2200}{30927,73} = 7,11m$$

Donde:

S: Pendiente media del cauce

H: Desnivel entre los puntos más elevado y más bajo

L: Longitud del cauce

Sacando el cálculo de la pendiente del cauce principal de la cuenca (Cuadro N° 5) esta está dentro de la clasificación de MODERADAMENTE INCLINADO ya que tiene como rango 7,11m.

Esto es para el cauce que es el Río de Orozas que se encuentra a cercanías de las comunidades como santa rosa, mercad, guayabillas, etc.

Densidad de drenaje:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

$$Dd = \frac{319,80}{312,9} = 1,02$$

Donde

D_d = Densidad de drenaje

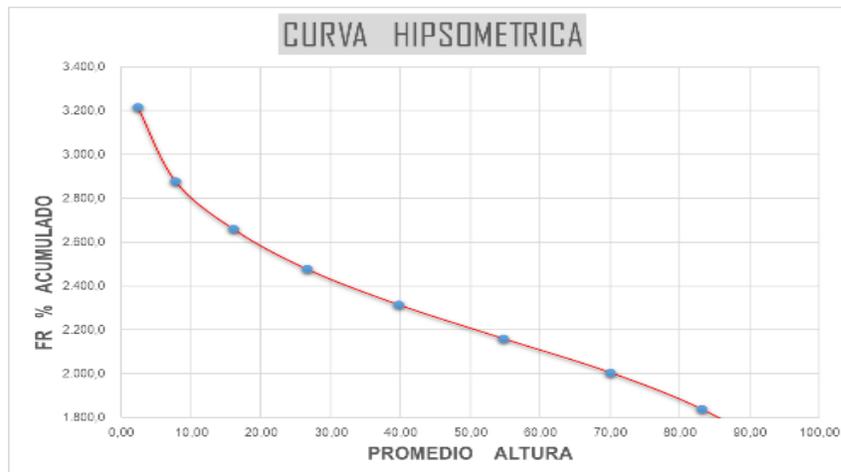
L= Longitud total de las corrientes

A= Área total de la cuenca

Respecto a la densidad de drenaje de esta cuenca se encuentra dentro del rango de 1 – 1.8 que tiene como clasificación BAJA que se encuentra en el cuadro N° 6.

Curva Hipsométrica:

COTAS (msnm)			AREA			
MIN	MAX	PROMEDIO	AREA (Km2)	AREA ACUM (Km2)	F.R. (%)	F.R. ACUM(%)
1236	1545	1.390,5	21,79	578,86	6,96	100,00
1546	1751	1.648,5	31,00	557,08	9,91	93,04
1752	1927	1.839,5	41,01	526,08	13,11	83,13
1928	2085	2.006,5	47,98	485,07	15,33	70,02
2086	2237	2.161,5	46,98	437,09	15,01	54,69
2238	2394	2.316,0	41,21	390,11	13,17	39,67
2395	2563	2.479,0	32,99	348,90	10,54	26,50
2564	2759	2.661,5	25,93	315,91	8,29	15,96
2760	3001	2.880,5	16,87	289,98	5,39	7,67
3002	3436	3.219,0	7,14	273,11	2,28	2,28



Elaboración propia

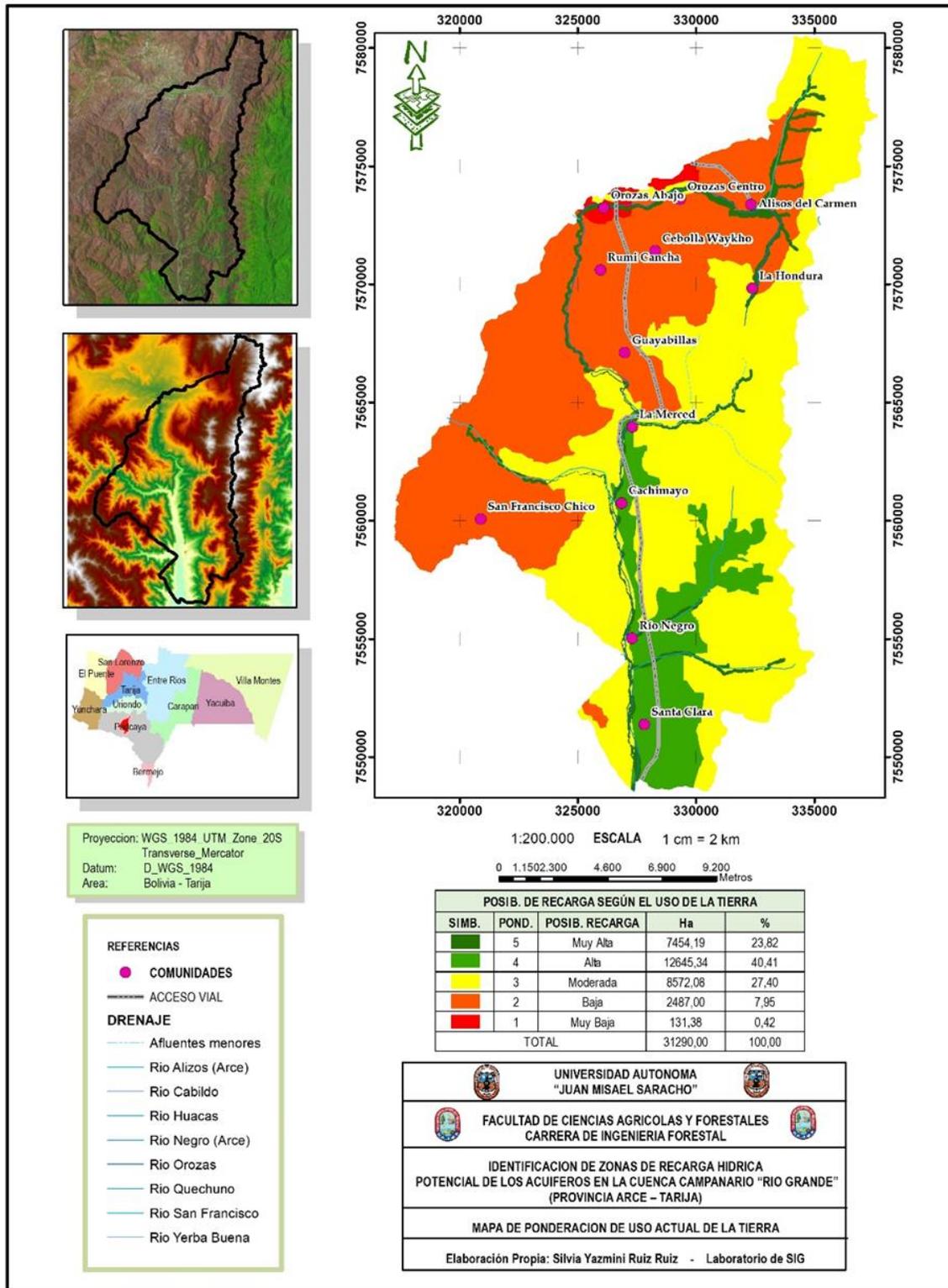
Habiendo cargado ya las respectivas cotas para poder realizar la gráfica de la curva hipsométrica se puede observar que esta misma tiene la forma C o curva C la cual refiere que la cuenca en cuestión se encuentra en fase de VEJEZ. (Ver Figura N° 1)

4.2. Zonas de Recarga Hídrica de la Cuenca.

Generación de Mapas:

En acuerdo con la metodología que se realizó de Matus Silva, se describieron los mapas biofísicos de acuerdo al rango que tengan en un potencial de recarga hídrica. Se hizo la descripción de cada uno de ellos, que son:

- Uso de la Tierra
- Relieve (pendiente)
- Textura del Suelo
- Tipo de Roca (geológico)
- Cobertura Vegetal (permanente)



Mapa N° 3. Uso de La Tierra

4.2.1. Descripción del Mapa del Uso Actual de la Tierra

Posibilidad de Recarga Muy Alta (Ponderación 5):

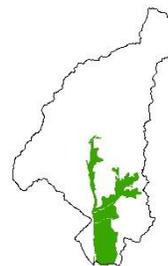


Esta área está más concentrada en la zona del drenaje donde no se hace uso agrícola, ya que corren los riegos de que las crecidas de los ríos destruyan o puedan llevarse en su caudal aquellas producciones agrícolas.

Así que por este motivo se puso de categoría 5 en la posibilidad de recarga hídrica, en toda su red de drenaje del área de estudio que es la Cuenca Campanario, esta área es donde se concentra las escorrentías de las aguas superficiales.

Posibilidad de Recarga Alta (Ponderación 4):

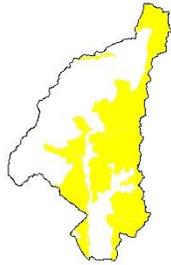
Esta área está concentrada en la parte sur y sureste de la cuenca donde están dos zonas fisiográficas de Cordilla Oriental y la Subandino, en donde esta tiene el uso de suelos con las actividades de ganadería extensiva de vacunos además de caprinos y ovinos en menor grado, con aprovechamiento forestal tradicional, comercial y selectivo. También se presenta en los pequeños bosques de pino del cerro y aliso, matorrales de tusca, guaranguay y otras, donde ramonea y pastorea el ganado. Y se hace la extracción de algunas de estas especies para el consumo de los mismos comunarios ya sea como leña, postes, etc.



Como también se encuentran cultivos anuales de cítricos en las zonas aledañas al río para ser más factible en el riego de los cultivos anuales y perennes. La producción de la ganadería de vacunos se destina más para el consumo familiar que para su venta, la producción de los caprinos y ovinos se destina principalmente para el consumo familiar.

En el Subandino templado semihumedo y frío húmedo, entre Santa Clara, Río Negro, Cachimayo y La Merced, la práctica de pastoreo en continuo movimiento aumenta la carga animal temporalmente de mayo a noviembre en razón de ser una zona receptora de vacunos proveniente del Valle Central y alrededores.

Posibilidad de Recarga Moderada (Ponderación 3):



En esta zona esta categorizada como recarga moderada tiene las actividades de Agropecuario extensivo con cultivos anuales y perennes que se localiza en valles, mesetas y llanuras con una distribución dispersa. La agricultura es a secano, con cultivos de maíz, trigo, cebada, papa y otros, básicamente para el autoconsumo.

La ganadería es mixta, compuesta por ovinos, caprinos y vacunos que pastorean en pastizales y arbustales próximos a la zona agrícola. En invierno el pastoreo se extiende a toda la unidad, incluyendo las áreas agrícolas para consumir el rastrojo. Tala selectiva de algunas especies maderables para el uso de los comunarios ya sea como leña.

Posibilidad de Recarga Baja (Ponderación 2):

El rango de recarga baja está más expuesto en la zona oeste de la cuenca donde su uso es mayormente de Agrosilvopastoril en matorrales con caprinos, ovinos y de cultivos anuales como ser de maíz, papa, maní y de algunas hortalizas y frutales.



Ganadero extensivo con ovinos; En algunas áreas pequeñas ubicadas en las partes más altas de la serranía media con vegetación graminoide domina el uso ganadero extensivo principalmente con ovinos.

Son muy sobre explotado más que todo en la zona donde no hay mucha vegetación que pueda soportar la carga animal. Son zonas donde solo hay matorrales en gran cantidad y vegetación herbácea.

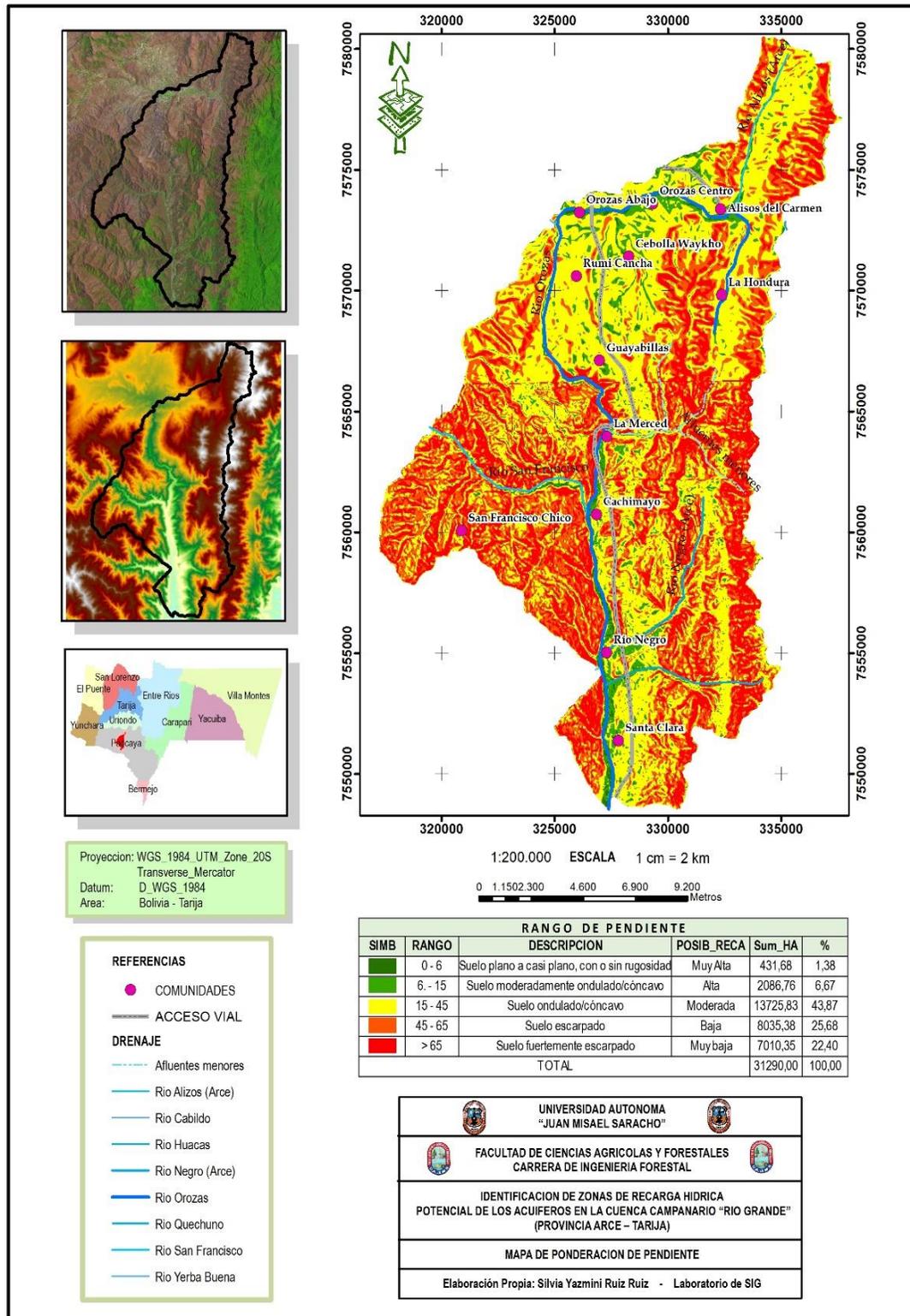
Posibilidad de Recarga Muy Baja (Ponderación 1):



En el Valle Central de Tarija y sus alrededores con llanuras fluvio-lacustres muy afectadas por procesos de erosión hídrica, existe ganadería con pastoreo y ramoneo extensivo en los pocos pastizales y matorrales secundarios por caprinos, ovinos y algunos vacunos; en los interfluvios se cultiva maíz y trigo para el auto consumo.

Norte a orillas del río y como también ayuda al degradado de los suelos por las comunidades de Orozas.

Tiene una gran importancia estratégica en la conservación y protección de los recursos hídricos.



Mapa N° 4. Relieve (Pendiente)

4.2.2. Descripción del Mapa de Pendiente

Rango 0 – 6 %

Este rango de pendiente da la posibilidad de una recarga muy alta ya que el % del relieve es igual o menor que 6 y son suelo plano a casi plano, con o sin rugosidad, que quiere decir que las escorrentías de las aguas no son rápidas. En la cuenca de campanario este rango ya mencionado ocupa 431,68 ha, y es el 1,38 % de la cuenca en cuestión donde se presentan en valles coluvio-aluvial en cercanía del lecho del río principal que es el de Orozas en la parte sur a norte desde la comunidad de Santa Clara hasta cercanías de la Merced, como también pequeñas zonas de la parte sureste de la cuenca donde es presente la serranía baja. Como también está presente en la zona norte por la comunidad de Alisos y Honduras que es en la cercanía del lecho del río Orozas y parte de río Alisos.

Rango de 6 – 15 %

La posibilidad de recarga en este rango es alta ya que su relieve se trata de un Suelo moderadamente ondulado/cóncavo que tiene un rango de 6-15 % de pendiente, lo cual ayuda a que la velocidad del agua sea adecuada para que ocurra el proceso de infiltración y así la recarga de los acuíferos. Este rango tiene 2086,76 ha dentro de la cuenca el cual representa el 6,67% de la superficie en estudio, en la zona de mayor concentración se presentan en la montaña alta, serranía baja y valle coluvio aluvial del este sureste y sur de la cuenca. Después se encuentra distribuido en parte oeste en menor proporción donde es la serranía media, y al norte y noreste de la cuenca en montaña alta, serranía baja y llanura de pie de monte.

Rango 15-45 %

Este rango es moderada y es la que predomina en la cuenca el campanario el cual es de 15-45 % de pendiente y tiene un relieve o suelo ondulado/cóncavo, en estos relieves se presentan escorrentías de las aguas con velocidad considerables en donde la vegetación hace un papel muy importante para ser más factible la infiltración.

El rango ocupa 43,87% con este tipo de pendiente y con 13725,83 ha, donde forma parte de la montaña alta en la zona norte como también noreste y este de la cuenca, serranía media y baja, valles coluvio aluvial que es en cercanía del lecho del río Orozas,

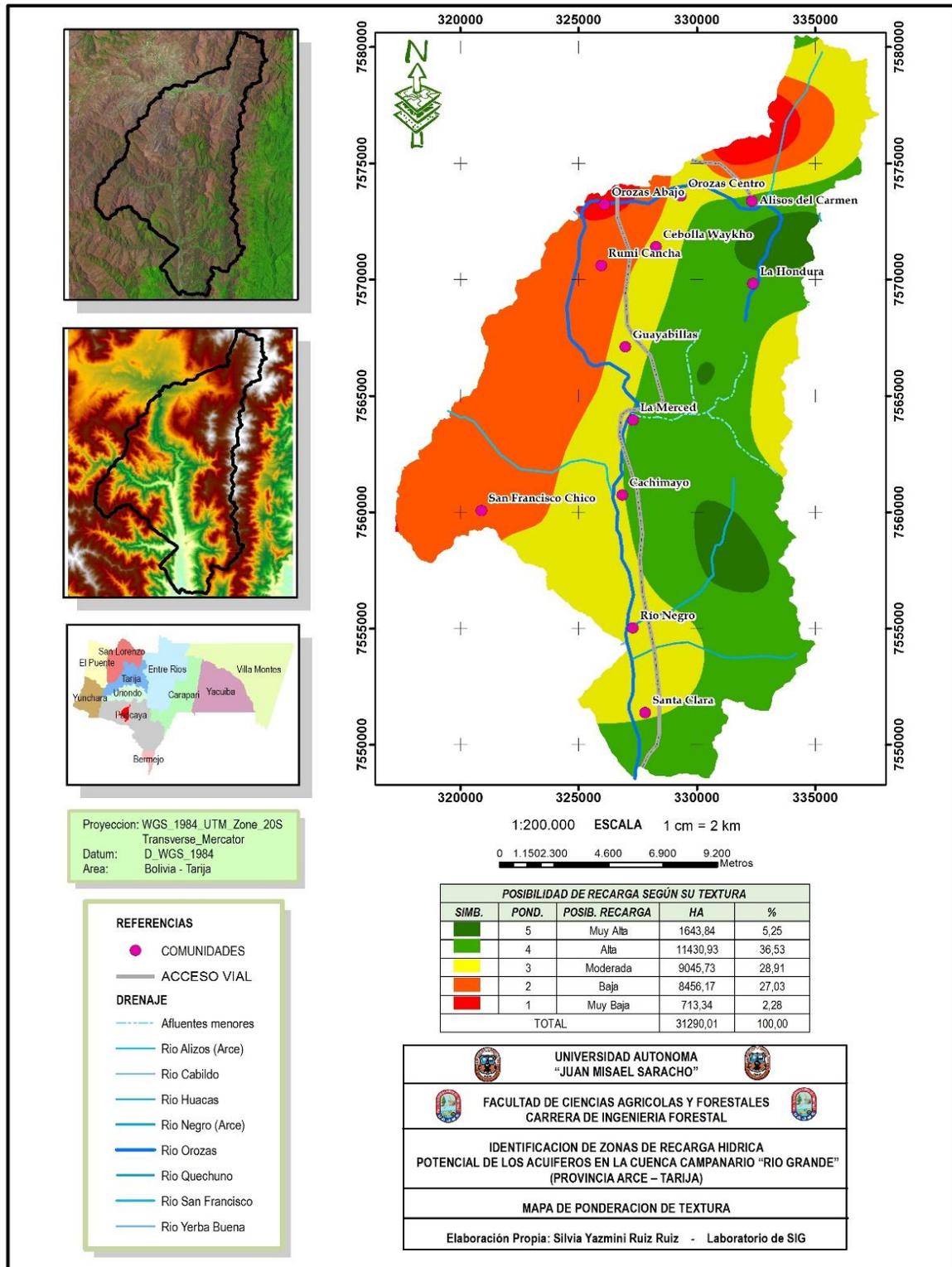
llanuras pie de monte en el norte cabecera de la cuenca y parte de la colina media por la comunidad de Cebolla Waykho.

Rango 45-65 %

Este rango es considerado baja ya que su pendiente está dentro de 45-65 % lo cual hace que sus suelos sean escarpados donde la roca que corta el terreno abruptamente donde la lluvia recorre la superficie de la tierra cuesta abajo debido a la gravedad y donde hace imposible la infiltración del mismo. El rango baja tiene 25,68 % que comprende de la cuenca y con 8035,38 ha y donde esta forma parte de oeste con el paisaje de serranía media por zona de la comunidad de San Francisco Chico, noreste se presenta parte de la serranía media con colina media que esto hace parte de la comunidad de Rumi Cancha y Orozas abajo con llanura fluvio aluvial lacustre y norte de la cuenca en Orozas centro se presenta llanura pie de monte y montaña alta donde llega a colindar hasta la comunidad de Alisos.

Rango >65 %

Este rango de pendiente da la posibilidad de una recarga es muy baja ya que el % del relieve es >65 y son suelos que son fuertemente escarpados, que quiere decir que la escorrentía de las aguas tiene velocidades que no posibilita que haya infiltración y mayormente estas zonas con este rango de pendiente no tienen vegetación alguna ósea que tienen suelos muy compactados y que la humedad de los suelos es casi nula. Este rango solo existe en pequeños puntos dentro de la zona de la cuenca que son las siguientes; dos pequeñas zonas se encuentran en la parte noroeste de la cuenca en la comunidad de Orozas Abajo dentro de la llanura fluvio lacustre de la cuenca y el tercer punto que tiene este rango se encuentra en la parte este de la cuenca que está cruzando el lecho del río Orozas frente de la comunidad de Guayabillas y este pertenece a la serranía media de la cuenca. Todo esto hace un % de 22,40 y con una superficie de 7010,35 ha dentro de la cuenca de Campanario.



Mapa N° 5. Textura del Suelo

4.2.3. Descripción del Mapa de Textura de Suelo

Posibilidad De Recarga Muy Alta (Ponderación 5)

Franco Arenoso FA



Esta clase de textura se clasifica con posibilidad de recarga muy alta donde esta tiene 1643,84ha que representa el 5,25% en la cuenca, estos Suelos son bien drenados, moderadamente profundos, pH ligeramente alcalino.

Características físicas estos suelos son superficiales o poco profundos.

Presenta una primera capa de textura francas a franco arenosos de color pardo oscuro amarillento en la segunda capa de textura es franco arenoso con un incremento considerable de fragmentos gruesos de tamaño de la grava

Esta textura se presenta en las formaciones geológicas de Santa Rosa, Tarabuco y Huamampampa.

Posibilidad de Recarga Alta (Ponderación 4)

Franco F

Su clasificación de posibilidad de recarga es alta ya que esta tiene 11430,93ha que es 36,53%, son suelos de texturas medias gruesas, generalmente superficiales, con estructura débil de bloques subangulares, contienen abundantes piedras angulares en el perfil, el ph de estos suelos es moderadamente alcalino



Este tipo de textura del suelo se encuentra por la zona de la comunidad de la Merced donde está constituido por la formación de Iscayachi y Cieneguillas. Como también la zona cercana de la comunidad de Río Negro en la faja de formación de Tarabuco y kirusillas y como último en la comunidad de Alisos en la zona norte de la cuenca en la formación de Santa Rosa y el Depósito Fluvio Lacustre

Posibilidad de Recarga Moderada (Ponderación 3)



Franco Limoso FL

En esta categoría de textura se la categoriza como moderada la cual cuenta con 9045,73ha lo cual es el 28,91% de la Cuenca Campanario. Son suelos profundos, ricos en materia orgánica, aunque el pH es un poco más ácido.

Franco limosa Los agregados son muy firmes, pero se pueden romper bajo presión moderada. Los terrones son de firmes a duros.

Predomina las texturas gruesas franco arenoso y franco limoso con abundantes fragmentos del tamaño de la grava media y gruesa y frecuentes fragmentos del tamaño de la piedra subredondeadas. La fertilidad natural es baja con un contenido de materia orgánica bajo o muy bajo, la reacción es neutra a ligeramente ácida y la conductividad eléctrica es baja, esta forma parte de Cieneguillas.

Posibilidad de Recarga Baja (Ponderación 2)

Franco Arcilloso FY

Suelos franco arcillosos son drenaje moderado, poco profundos, pH prácticamente neutro, fertilidad baja. La textura tiene la categoría de recarga baja y tiene un porcentaje de 27,03 y con un área de 8456,17ha.

Tienen Agregados muy firmes y duros, resistentes a dejarse romper con la mano. Presenta muchos afloramientos rocosos y también de presencia de fragmentos rocosos sobre redondeados es común predomina la erosión laminar.

Estas se presentan en la parte norte de la cuenca forma parte de las formaciones geológicas de Depósito Fluvio Lacustre y Kirusillas, Donde se presentó zonas de erosión



Posibilidad de Recarga Muy Baja (ponderación 1)

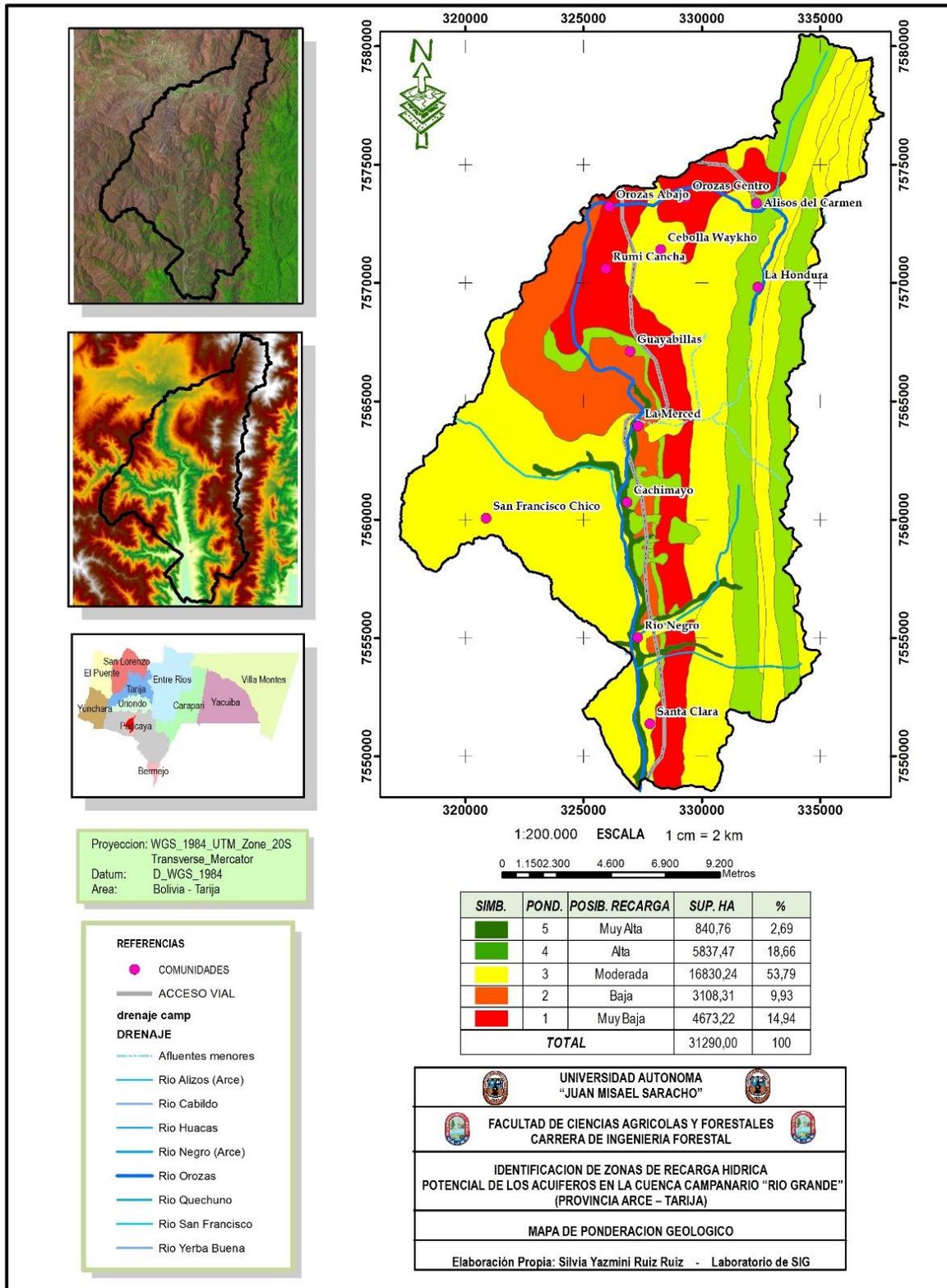
Arcilloso Y



Este tipo de textura tiene un porcentaje de recarga muy baja donde esto llega a cubrir el 2,28 % y lo cual tiene 713,34ha dentro de la cuenca. Un suelo arcilloso son un suelo de textura fina, son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos.

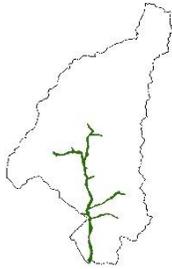
Los suelos arcillosos son suelos alcalinos con pH elevado, estructura pobre y densa, baja capacidad de infiltración y lenta permeabilidad.

Mapa N° 6. Tipo de Rocas (Geológico)



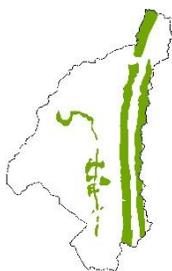
4.2.4. Descripción del Mapa Geológico

Posibilidad de Recarga Muy Alta (Ponderado 5).



CUATERNARIO (*Qa. Depósitos aluviales*):
Están constituidos por materiales sueltos de cantos gravas, limos y arcillas formando el plano inundable o lecho del principal río de Orozas desde las comunidades de Merced, Cachimayo, Río Negro y Santa Clara como también parte del río de la comunidad de San Francisco; estos depósitos dominan una superficie de 840,76ha que representa el (2,69%) de la cuenca de interés.

Posibilidad de Recarga Alta (Ponderado 4).



DEVONICO (*Dsr. Formación Santa Rosa*):
Compuesta por areniscas estratificadas en bancos gruesos de grano medio a grueso de color blanquecino a gris rozado. La Formación Santa Rosa, morfológicamente en el relieve ocupa los altos topográficos que sería la montaña alta, es decir toda la parte derecha de la cuenca que son un par de franjas que cruzan toda la cuenca. Tiene una superficie de 4815,58ha y con 15% de Campanario.

SILURICO (*Scs Formación Cancañiri*):

Aflora en la pendiente media, está constituida por diamictitas gris oscuras con clastos de areniscas, cuarcita y granito, que se hallan en una matriz limo-arcillosa. se apoyan en discordancia sobre niveles estratigráficos ordovícicos de la formación Cieneguillas. Están conformados por la colina media y serranía baja como media que siguen al par con el curso del río Orozas. Tiene una superficie de 537,32 ha que esto es el 1,72 %.

CUATERNARIO (*Qcf. Depósitos coluvio-fluvial*):

Estos depósitos están formados por gravas, arenas, limos y arcillas depositados por un proceso coluvio aluvial, que están concentradas en la zona de la colina media y serranía baja que abarca o está localizada desde la comunidad de Cachimayo a Río Negro, estos

depósitos cubren una superficie de 484,57ha, representando un 1,55 % de la superficie total de la cuenca

Posibilidad de Recarga Moderada (Ponderado 3).

ORDOVICICO (*Ois Formacion Iscayachi*):



Está constituida por areniscas de grano fino a medio, color gris amarillento a gris olivo claro y algunas intercalaciones de limolitas grises. Esta la parte suroeste de la cuenca y en ella está la comunidad de San Francisco, en ella se encuentra el paisaje de serranía media. Esta formación tiene una superficie de 7076,41 ha (22,62 %)

DEVONICO (*Dic formacion Icla*):

Estos depósitos están formados por Lutitas y limolitas micáceas, gris, limos y arcillas oscuras, que están concentradas en la zona de llanura pie de monte en la zona norte por Alisos del Carmen y corre una delgada franja en el lado derecho de norte a sur de la cuenca que abarca la montaña alta y pasa por la comunidad de Honduras, esta formación cubre una superficie de 1666,43ha, representando un 5,33% de la superficie total de la cuenca.

CUATERNARIO (*Qt. Depósitos de terraza*):

Constituidos por material semiconsolidado de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas formando las principales valles coluvio aluvial de la zona sur en las comunidades de Río Negro, Santa Clara y central en la comunidad de la Merced localizadas en márgenes del río Orozas. Tienen una superficie de 502,66 ha que es el (1,61 %).

Posibilidad de Recarga Baja (Ponderado 2).



ORDOVICICO (*Oci Formacion Cieneguillas*):

Compuesta predominantemente por lutitas y limolitas de color marrón a gris oscuras, con pocas intercalaciones de pequeños bancos de areniscas arcillosas friables dispuestas en capas delgadas, esta se encuentra al noroeste de la cuenca se encuentra dentro de la serranía media, colina

media y parte de la serranía baja. Esta se intersecta con la comunidad de Guayabillas y la Merced. Cubre una superficie de 3108,31ha (9,93 %).

Posibilidad de Recarga Muy Baja (Ponderado 1).

CUATERNARIO (*Qfl. Depósitos fluvio-lacustres*)

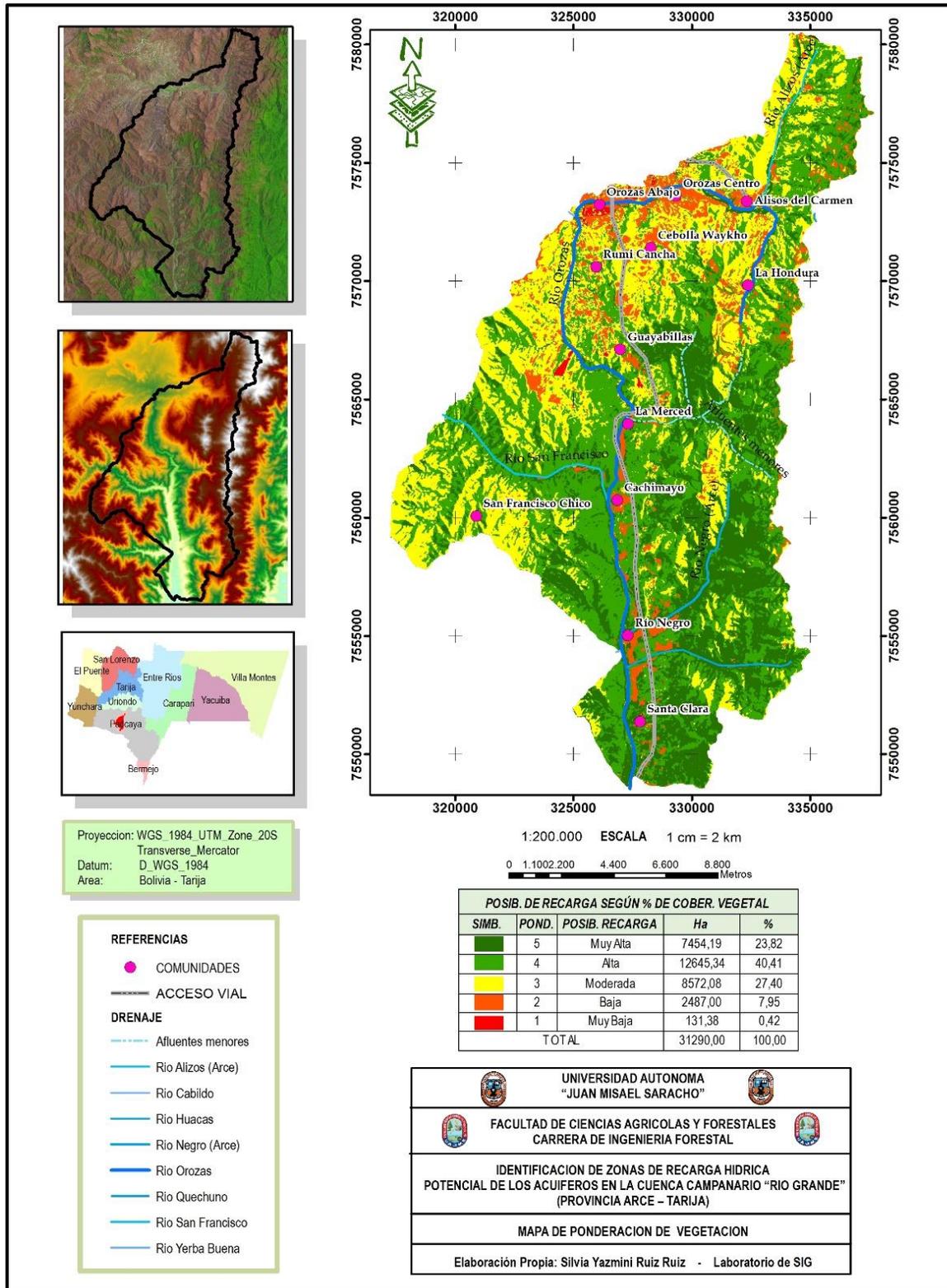


Localizado en la parte norte de la cuenca parte de las comunidades de Orozas Abajo, Orozas Centro, oeste de Alisos del Carmen y norte de Cebolla Waykho, constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, formando una llanura de pie de monte y fluvio lacustre como también de serranía baja con relieve muy disectado y con pequeños interfluvios casi planos, como consecuencia de la alta susceptibilidad de estos depósitos son los procesos de erosión hídrica. Este depósito representa un 3,61% de la superficie total de la cuenca (1130,01 ha).

SILURICO (*Skr Formación Kirusillas*)

Corresponde al Silúrico y aflora en la base la Formación Tarabuco, está compuesta por lutitas y limolitas gris oscuras, marrón oscuras, a veces negras, bien laminadas, y en mínima proporción por capas de areniscas arcillosas de color gris claro a marrón. Esta formación cruza por medio de la cuenca, forma parte de la colina media, serranía baja y una pequeña parte de la llanura fluvio lacustre intersecta con sur de Orozas, Guayabillas y Rumicancha. Abarca una Cubre un espacio de 3543,22 ha que es un 11,32 % de la cuenca.

Mapa N° 7. Cobertura Vegetal Permanente



4.2.5. Descripción del Mapa de Vegetación

Posibilidad de Recarga Muy Alta (Ponderado 5):



La zona ponderada está caracterizada por los bosques denso y semidenso.

Estos dos tipos de bosque; El bosque denso mayormente siempre verde estacional o de transición y el bosque semi denso mayormente siempre verde se encuentra en la zona de este, sureste y sur de la cuenca. Se presenta un tipo de bosque que estos tienen una gran riqueza florística, con predominio de especies como Tipa Blanca, Timboy, Cebil, Tarco, Lapachos, Urundel, Espinillo, guayabo (*Eugenia sp.*), laurel (*Phoebe porphyria* y *Nectandra sp.*) formando bosques puros o mezclados con otras especies de follaje permanente. También se encuentran bosques casi puros formando fajas angostas y estrechos en las laderas o quebradas, compuestos por pino del cerro.

Que tienen alturas mayores a los 5 metros, y su diámetro más de 50 cm, y sus follajes medio tupidos que hace que los bosques sean muy representativos en la ponderación que se realizó.

Toda esta zona de recarga muy alta se encuentra con una superficie de 7454,19 ha, que esto representa 23,82 % de la cuenca campanario.

Posibilidad de Recarga Alta (Ponderado 4):

En este tipo de ponderación que se designó está caracterizado por los Bosque ralo xeromórfico desiduo por sequía y Matorral mayormente caducifolio desiduo por sequía.

Las características ambientales de estos bosques responden a las condiciones climáticas de frecuente de frío semi húmedo, templado semi húmedo, y frío húmedo.

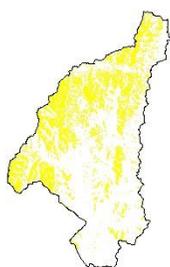
Estos bosques tienen una alta riqueza florística, entre las especies arbóreas características se mencionan al guayabo (*Eugenia sp.*) y pino del cerro (*Podocarpus parlatorei*). En cañadones húmedos y algunas pendientes de exposición sudeste



Se encuentran pequeños bosques y matorrales residuales de aliso (*Alnus acuminata*) asociado al pino del cerro.

Estos dos tipos de estratos de vegetación llegan a cubrir el 40,41 % de la cuenca Campanario y lo cual tiene una superficie de 12645,34 ha, esta es la dominante en cuestión de su categoría de ponderación.

Posibilidad de Recarga Moderada (Ponderado 3):

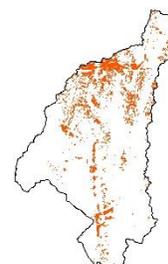


Está constituido por Matorral xeromorfo desido por sequía y Vegetación herbácea graminoide baja sinusia arbustiva esta vegetación está compuesta por las especies que pertenecen a la familia Mimosáceae como el churqui (*Acacia caven*) y la tusca (*Acacia aroma*), formando matorrales generalmente puros. También se encuentran especies arbóreas como algarrobo blanco (*Prosopis alba*), y chañar (*Geoffroea decorticans*). La vegetación herbácea baja y de cobertura irregular, desarrollada sobre suelos generalmente pedregosos, con abundante afloramiento rocoso y afectado por erosión hídrica.

Tiene una superficie de 8572,08 ha, quiere decir que es el 27,40% de la cuenca y está concentrada en la parte superior de la cuenca, ósea el norte, noroeste y oeste de la cuenca.

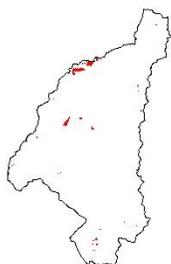
Posibilidad de Recarga Baja (Ponderado 2):

Está constituido por Matorral xeromorfo desido por sequía y Vegetación herbácea graminoide baja sinusia arbustiva esta vegetación está compuesta por las especies que pertenecen a la familia Mimosáceae como el churqui (*Acacia caven*) y la tusca (*Acacia aroma*), formando matorrales generalmente puros. También se encuentran especies arbóreas como algarrobo blanco (*Prosopis alba*), y chañar (*Geoffroea decorticans*). La vegetación herbácea baja y de cobertura irregular, desarrollada sobre suelos generalmente pedregosos, con abundante afloramiento rocoso y afectado por erosión hídrica.



Tiene una superficie de 8572,08 ha, quiere decir que es el 27,40% de la cuenca y está concentrada en la parte superior de la cuenca, ósea el norte, noroeste y oeste de la cuenca.

Posibilidad de Recarga Muy Baja (Ponderado 1):



El área que comprende esta posibilidad de recarga es el suelo desnudo sin cobertura vegetal de la cuenca la cual se encuentra en la parte superior en Orozas para ser más exacto donde existen suelos degradados por la erosión y son suelos que no tienen la capacidad de poder tener captación para una recarga hídrica esta consta de 131,38 ha que es 0,42% en la cuenca. Y las cuales se debería considerar un manejo adecuado para que esta área no aumente su erosión.

4.2.6. Descripción de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica

Recarga Hídrica de la Cuenca Pedagógica de Campanario Rio Grande:

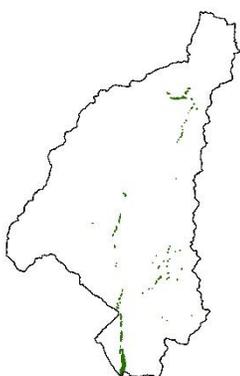
Cuadro N° 15: Recarga Hídrica de la Cuenca.

SIMB.	POSIB, RECARGA	PONDERADA	RANGO	Ha	%
	Muy Alta	5	4.01 - 5.00	58,20	0,19
	Alta	4	3.01 - 4.00	4940,75	15,79
	Moderada	3	2.01 - 3.00	21458,01	68,58
	Baja	2	1.01 - 2.00	4831,31	15,44
	Muy Baja	1	0.00 - 1.00	1,75	0,01
TOTAL				31290,01	100

Figura N°4: Porcentaje de Recarga Hídrica

Fuente: *Elaboración propia*

RECARGA MUY ALTA



Esta área de recarga es el segundo porcentaje más bajo presente en la cuenca de Campanario con una superficie de 58,20 Ha. distribuida en la parte baja del cauce principal del Río Orozas desde la Comunidad de Santa Clara hasta la Merced y al norte por las comunidades de Alisos del Carmen y la Hondura, donde presenta un bosque denso mayormente siempre verde estacional o de transición formado por las especies forestales de molle, churquis, tusca y guaranguay por la zona del pie del cerro Chorolque.

Y con formación geológica en la zona sur de la cuenca con depósitos aluvial que contiene gravas arenas limos arcillas y material suelto de cantos y formación de Iscayachi con areniscas y limolitas y cuarcitas, gris verdosas.

En la zona central en dirección del este que esta compuestos por depósitos aluvial y de terrazas como también la formación de Tarabuco que se encuentran intercalación de areniscas , lulitas y areniscas limosas y Santa Rosa areniscas sabulíticas blanquesinas Y continuando En la zona del norte formado también por la formación de Tarabuco, Santa Rosa y un mínimo porcentaje de la formación de Icla que está conformado por lulitas y limolitas micáceas, gris oscuras.

En las zonas que caen esta clase de recarga son 3 diferentes, como ser en la parte sur son valles coluvio aluvial que estos están en el flujo principal del río. En la zona este donde hay pequeñas porciones que caen esta recarga esta con el paisaje de serranía baja y en la zona norte está el paisaje de la llanura pie de monte.

Todo el pequeño porcentaje de la recarga muy alta cae en la fisiografía de la cordillera oriental.

El clima representativo de la recarga caen las zonas de templado semi húmedo en la parte baja de la cuenca y subiendo la dirección del curso del agua, y en la zona este predomina el clima de templado semi húmedo con frío húmedo y la parte alta el clima es frío semi húmedo esto puede denotar la variación de clima que puede tener una cuenca a causa de los diferentes pisos altitudinales que se encuentran en el área de estudio.

Los usos que se presentan son de Silvopastoril con vacunos y tala selectiva en la parte baja de la cuenca como también Agrosilvopastoril en matorrales con cultivos anuales, caprinos, ovinos, vacunos y extracción de leña en la parte media de la Cuenca, pero en la zona norte de la Cuenca se hace uso Agrosilvopastoril en matorrales con caprinos, ovinos y cultivos anuales.

Respecto a su textura existen franco arenoso en la zona sur y en la media hay franco arenoso y franco al igual que en la parte norte de la cuenca.

Respecto a su pendiente su rango de esta recarga es de 0-6 de rango de pendiente lo cual son suelos planos o casi planos o sin rugosidad lo cual le da la capacidad de tener una mayor posibilidad de recarga hídrica, pero esto solo es una pequeña área de 431,68 ha y lo cual solo es 1,38 5 de la cuenca de Campanario.

RECARGA ALTA

Este área de recarga tiene un porcentaje de 15,79 % de la cuenca de campanario con una superficie de 4940,75 Ha. distribuida en la parte sur y sur este de la cuenca en su mayor parte está concentrada entre las comunidades de Santa Clara, Río Negro, Cachimayo y de menor concentración en las comunidades de la Merced, Guayabillas, Honduras y Alisos del Carmen como también Orozas Centro, donde presenta zona sur

y sur este un bosque denso mayormente siempre verde estacional o de transición formado por las especies forestales de Nogal, Jacaranda, Carnaval.



En la parte central de la cuenca se encuentra Bosque ralo xeromórfico desiduo por sequía y también Matorral mayormente caducifolio desiduo por sequía. Bosque ralo xeromórfico desiduo por sequía.

Y en la zona norte de la cuenca Vegetación herbácea graminoide baja sin sinusia arbustiva, Matorral mayormente caducifolio desiduo por sequía, Bosque ralo xeromorfico desiduo por sequia

Su zona geológica de la parte baja es de la formación de depósitos aluviales en la zona del lecho del río principal que es el Orozas, siguiendo los depósitos de terrazas, formación de Cancañiri, formación de Kirusillas, Tarabuco, Santa Rosa, Icla y Huamampampa.

En la parte central de la cuenca continua con la formación geológica de la cuenca baja ya mencionados excepto la formación de Huamampampa, también aquí se llega a agregar la formación de Iscayachi y Cineguillas en la zona oeste del lecho del río principal

En la parte norte de la cuenca se puede apreciar que su formación donde existe esta recarga son de la formación Santa Rosa, Icla, Tarabuco y los depósitos fluvio lacustres La recarga alta abarca los paisajes montaña alta, serranía baja y media conjunto con el valle coluvio – aluvial y colina media está concentrada en la parte baja subiendo hasta la parte media de la cuenca.

En la parte norte de la cuenca están los paisajes de montaña alta y llanura pie de monte una pequeña parte de serranía baja.

En las características de fisiografía es compuesta con la cordillera oriental y también el subandino en la zona del lecho del río principal de la zona sur parte de la comunidad de Santa Clara y Río Negro y media de la cuenca en la comunidad de la Merced y hasta casi llegar a Cachimayo

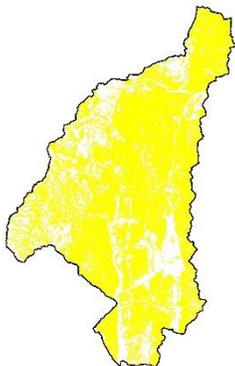
El clima que predomina en este tipo de recarga es la de templado semihumedo desde la parte sur de la cuenca siguiendo la línea del lecho del rio hasta la parte media, en la parte del este frío húmedo y subiendo de la parte media al norte desde el este de la merced, guayabillas hasta alisos es frío semi húmedo.

Usos que se hace en la zonas de recarga alta son de Ganadero extensivo con ovinos y caprinos, Silvopastoril con vacunos y tala selectiva, Agrosilvopastoril en matorrales con cultivos anuales, caprinos, ovinos, vacunos y extracción de leña esto es desde el medio de la cuenca hacia el sur Merced a Santa Rosa.

En la parte del norte de la cuenca en las comunidades de Orozas, Alisos, Honduras y Guayabillas se hace el uso del suelo en Agropecuario extensivo con cultivos anuales y perennes y vacunos, ovinos y caprinos, Agropecuario extensivo con caprinos, ovinos y cultivos anuales. Uso secundario: áreas sin uso (áreas erosionadas), Agrosilvopastoril en matorrales con caprinos, ovinos y cultivos anuales, Ganadero extensivo con ovinos y caprinos.

Textura de sus suelos en esta zona de recarga predomina zona baja y media de la cuenca es franco y franco arenoso, estas mismas texturas se repiten en la zona alta de la cuenca con una pequeña diferencia que la parte de Orozas, abajo se puede tener una textura de franco arcilloso que es mayormente donde se presenta las zonas erosionadas de la cuenca. Respecto de su pendiente este está en el rango de 6-15 donde se encuentran suelos moderadamente ondulado / cóncavo la cual tiene el 6,67 % de la cuenca Campanario y 2086,76 en ha.

RECARGA MODERADA



Esta unidad de recarga moderada es la que tiene el porcentaje más alto en la cuenca que cubre el 68,58 % de la misma con una superficie de 21458,04 Ha. distribuida en toda la cuenca de Campanario como se observa lo cual está presente en la mayoría de las comunidades que están dentro del área, pero un poco menos concentrado en las comunidades de Orozas Abajo, San Francisco Chico y Rumicancha. Estas áreas son un poco menos ya que estas

zonas son la parte solana de la cuenca.

Tiene un tipo de vegetación en la cual predomina un bosque semidenso mayormente siempre verde, bosque ralo xeromórfico desiduo por sequía, vegetación herbácea graminoide baja con sinusia arbustiva y sin sinusia arbustiva, toda la parte este de la cuenca de norte a sur esta zona cúmbrica de la cuenca.

Y la parte solana de la cuenca predomina la vegetación de Matorral mayormente caducifolio desiduo por sequía, bosque ralo xeromórfico desiduo por sequía en la zona alta y en la zona baja cerca del lecho del río principal de Orozas, más presente el bosque ralo xeromórfico desiduo por sequía donde predominan las especies de

En la recarga hídrica moderada se encuentra la siguiente clase de geología, ya que abarca con un % alto en las diferentes formaciones como se aprecia en el mapa geológico de la cuenca, en mayor concentración formación Cancañiri, Kirusillas, Tarabuco, Santa Rosa, Icla, Huamampampa y los depósitos aluviales, coluvio-fluvial, fluvio lacustre, depósito de terrazas desde norte a sur de la cuenca. Y en menor concentración que es una pequeña parte que tiene las formaciones de Cienegillas e Iscayachi.

Con el tipo de paisajes de montaña alta, serranía baja, colina media y valle coluvio aluvial de la zona este y sureste de la cuenca, al oeste la serranía media y al norte de la cuenca se presentan el paisaje de montaña alta y las llanuras de pie de monte y las de fluvio lacustre.

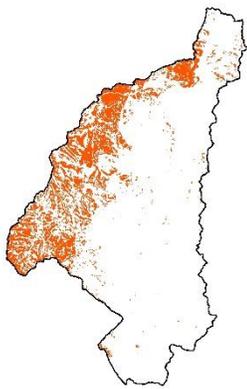
En respecto en la provincia fisiográfica esta unidad abarca la cordillera oriental y la subandino y caracterizado por el clima en la zona norte con el frío semi húmedo, al este con frío húmedo y la zona sur, media y parte del oeste con un clima templado semi húmedo, y el suroeste frío húmedo y frío semi húmedo.

En el uso actual se puede nombrar las siguientes actividades como ser ganadero extensivo con ovinos y caprinos en parte de la cabecera de la cuenca, este y sur este. En el noroeste se realiza Agrosilvopastoril en matorrales con caprinos, ovinos y cultivos anuales, agropecuario extensivo con cultivos anuales y perennes y vacunos, ovinos y caprinos, agropecuario extensivo con caprinos, ovinos y cultivos anuales. Uso secundario: áreas sin uso (áreas erosionadas). En el oeste y suroeste la Ganaderío extensivo con ovinos y Silvopastoril con vacunos y tala selectiva, y por último en el

sur y centro de la cuenca siguiendo la ribera del río principal su uso actual son las actividades de agrosilvopastoril en matorrales con cultivos anuales, caprinos, ovinos, vacunos y extracción de leña.

La textura de los suelos de la cuenca varía según el lugar, donde se ve mayor concentración con la unidad de recarga hídrica moderada es desde el norte noreste este y sureste que tiene su textura de franco a franco arenoso y una pequeña franja de franco limoso casi al límite de la cuenca en la zona este parte alta de la montaña. En el norte o noroeste se presenta suelos arcilloso y franco arcilloso esta es una de las zonas donde baja la concentración del % de recarga moderada y al oeste y parte del suroeste se presenta suelos franco arcillosos y franco limosos donde esta zona su vegetación es más escasa que la zona este.

Respecto a la pendiente en la recarga moderada tiene un rango de 15-45 de pendiente la cual hace posible que puede realizarse con más probabilidad la recarga y que tiene suelos ondulados / cóncavos lo cual estas características hacen que sea el 43, 87 % de la cuenca y con un área de 13725,83 ha.



RECARGA BAJA

Este área de recarga tiene un porcentaje de 15,44 % de la cuenca de campanario con una superficie de 4830,51 Ha. distribuida en el oeste parte de la comunidad de San Francisco Chico, noroeste Rumi Chanca, Orozas Abajo y una parte de Guayabilla y parte de zona norte con Orozas Centro y cabecera de Alisos del Carmen.

Esta unidad de recarga tiene una vegetación distribuida de que en la zona de mayor altura del oeste de la cuenta predomina la Vegetación herbácea graminoide baja sin sinusia arbustiva, vegetación herbácea graminoide baja con sinusia arbustiva y matorral xeromórfico desiduo por sequía donde presentan las especies de tusca, churqui, tarco y espinillo.

En el noroeste se presentan similar vegetación herbácea graminoide con y sin sinusia, con matorrales xeromórfico desiduo por sequía con la diferencia que existen pequeños

manchones cerca de las comunidades de Guayabillas a lado oeste y Orozas Abajo con suelos erosionados y más en cercanías de las áreas agrícolas y antrópicas. Y en parte norte esta la vegetación de Matorral mayormente caducifolio desiduo por sequía, Matorral xeromórfico desiduo por sequía, vegetación herbácea graminoide baja sinusia arbustiva, Vegetación herbácea graminoide baja sin sinusia arbustiva con las especies de pino de cerro, guaranguay, etc.

Geológicamente presenta al oeste las formaciones de cienegillas que está compuesto por Limolitas y lutitas, gris oscuras, con niveles de areniscas y formación de Iscayachi que es la comunidad de San Francisco Chico que está compuesto por areniscas, limolitas y cuarcitas, gris verdosas. En el noroeste se presentan las formaciones de Cancañiri está compuesto por Diamictitas gris verdosas y areniscas ferruginosas al tope, formación de Kirusillas están presentes Lutitas y limonitas gris oscuras y Tarabuco con presencia de Intercalación de areniscas, areniscas limosas y lutitas gris verdosas. Y por último en la zona norte está formando por depósitos fluvio lacustre que es donde se presenta la son antrópicas y agrícolas siguiendo por una pequeña aparición de nuevo de la formación de Tarabuco y consiguiente las franjas de las formaciones de Santa Rosa formado por Areniscas sabulíticas blanquecinas , formación Icla que lo forma Lutitas y limolitas micáceas, gris oscuras y por último Huamampampa con presencia de areniscas arcòsicas gris-marron y limolitas gris oscura.

El tipo de paisaje que componen esta unidad de recarga baja son en la zona oeste de la serranía media, en la parte o zona del noroeste esta pertenece a la colina media y llanura fluvio lacustre y en la parte del norte de la cuenca está conformado por el paisaje de montaña alta y pequeños sectores de llanura de pie de monte.

Esta unidad de recarga solo entra en formación de la provincia fisiográfica de la cordillera oriental. Esta caracterizado por los climas de la parte oeste con el frío húmedo y semi húmedo y pequeños sectores de templado semi húmedo, en la zona noroeste se presenta un clima frío semi húmedo igual como el sector de la zona norte que está dentro de esta unidad de recarga.

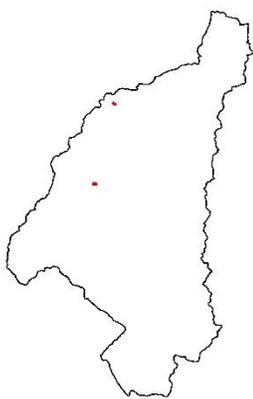
Los usos actuales que tiene en la recarga hídrica baja están en la práctica ; en oeste de ganadero extensivo con ovinos y en el noroeste se hace la práctica de las actividades

de suelo de agrosilvopastoril en matorrales con caprinos, ovinos y cultivos anuales y por último zona norte de la recarga en la cuenca se hace el uso de agrosilvopastoril en matorrales con caprinos, ovinos y cultivos anuales, como también agropecuario extensivo con cultivos anuales y perennes y vacunos, ovinos y caprinos, agropecuario extensivo con caprinos, ovinos y cultivos anuales. Uso secundario: áreas sin uso (áreas erosionadas) y un pequeño sector en la cabecera de la cuenca que se practica ganadero extensivo con ovinos y caprinos.

La textura que se puede identificar en la de esta unidad de recarga son de franco limoso en el oeste de la cuenca subiendo hasta el noroeste donde se puede encontrar suelos franco arcillosos hasta llegar a la zona norte donde están las comunidades de Orozas abajo con texturas de franco arcilloso y llegando al norte de la comunidad de Orozas centro donde hay de franco arcilloso hasta arcilloso, en alisos del Carmen se puede encontrar una mejor textura que es franco.

En la pendiente en recarga baja tiene un rango de 45-65 de pendiente la cual hace dificultoso que haya infiltración para una recarga de acuíferos ya que tiene suelos escarpados que hacen que su escorrentía sea demasiado rápido, el área que comprende esta recarga se hace el 25,68 % de la cuenca y con un área de 8035,38 Ha.

RECARGA MUY BAJA

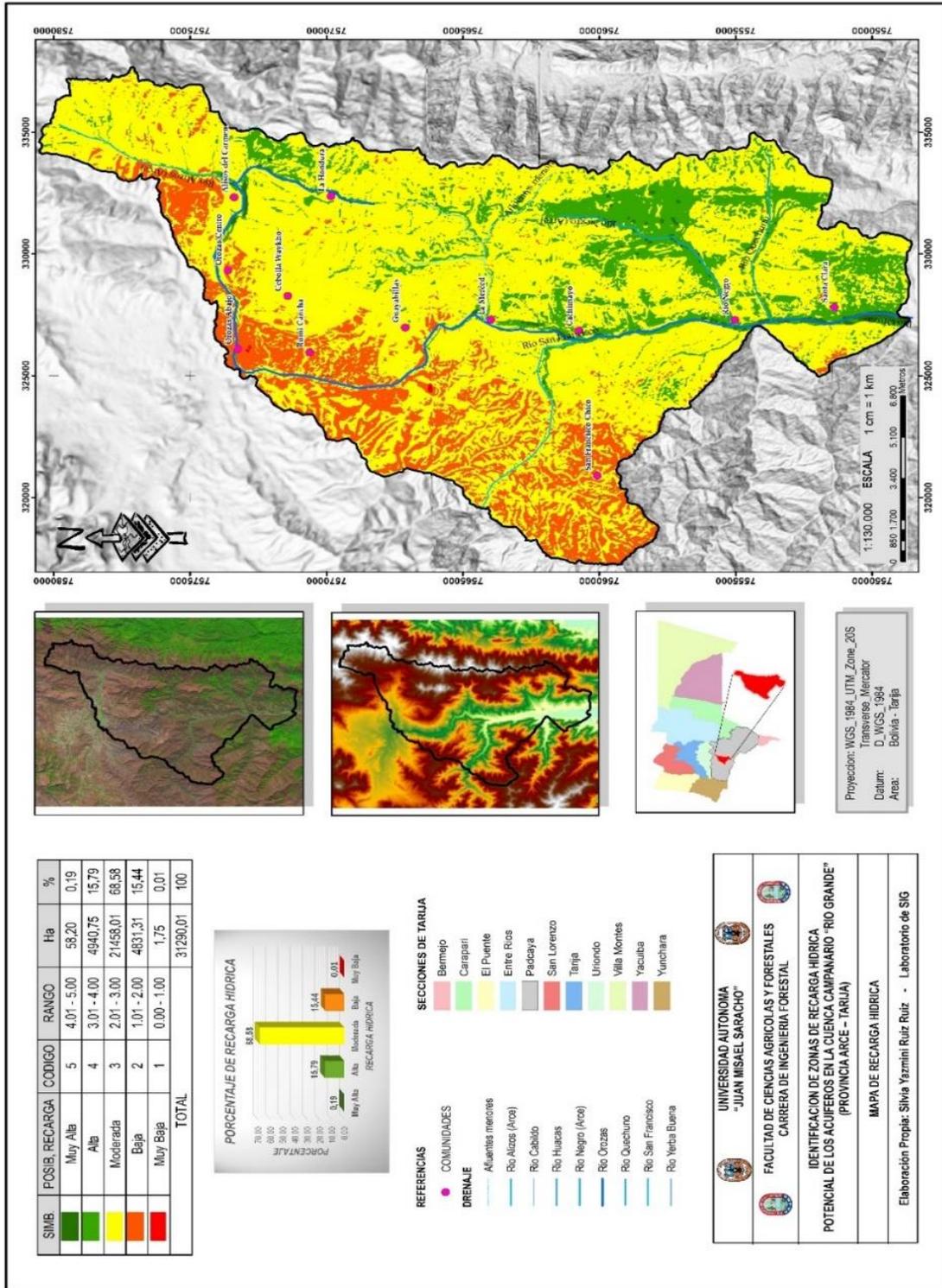


Esta área de recarga es el primer porcentaje más bajo presente en la cuenca de Campanario con una superficie de 7010,35 Ha. distribuida en 3 pequeños puntos de la cuenca en la parte superior, dos que se encuentran cerca de la comunidad de Orozas abajo y de su cauce de su río y el tercer punto de la recarga muy baja se encuentra en la zona noroeste de la cuenca a cercanías del cauce del río principal, del río Orozas y al frente de la comunidad de Guayabillas. Esta unidad de recarga cae en puntos

donde su vegetación es escasa o suelos desnudos y que se produce erosiones el cual hace que ese suelo no tenga la capacidad de infiltración.

Sus características geológicas son de que pertenecen en las formaciones de Kirusillas la que se encuentra en la parte norte y cerca de la comunidad de Orozas abajo y está dentro del paisaje de la llanura fluvio lacustre y de la cordillera oriental con un clima frío semi húmedo. Tiene usos actuales donde se practica agropecuario extensivo con caprinos, ovinos y cultivos anuales. Uso secundario: áreas sin uso (áreas erosionadas) con la textura de suelo que es de franco arcilloso.

Y la que se encuentra en la parte noroeste que está cerca del cauce principal del río Orozas está en la formación de Cienegillas y es parte del paisaje de la serranía media y la cordillera oriental con un clima templado semi húmedo. Tienes usos actuales de la Ganadero extensivo con ovinos y tiene una textura de franco arcilloso a franco limoso. Respecto a su pendiente; estas son >65 de pendiente lo que hace imposible que haya retención de agua ya que su suelos son muy escarpados o fuertemente escarpado y que esto es el 22,40% de la cuenca y con una superficie de 7010,35 Ha.



Mapa N° 8: Recarga Hídrica.

4.3. Balance Hídrico

La cuenca Campanario Río Grande; en su superficie de 31290 Ha. es parte de las ecorregiones de Bosque Altimontano y Bosque Montano Tucumano boliviano en la inferior de la cuenca, y también de Praderas Altimontanos y sipinas, Bosque Bajo y Matorral Chaco Serrano (valle central) en la parte superior de cuenca Campanario. Con climas de frío húmedos, frío semi húmedo, templado semi húmedo, con precipitaciones desde 4,72 mm hasta 129,88 mm su máxima.

El balance hídrico es fundamental en el manejo de cuencas y gestión del agua. Este proceso se calculó teniendo en cuenta los factores de la precipitación, temperatura y evapotranspiración. Analizando estos componentes llegamos a determinar que la cuenca campanario se encuentra en déficit hídrico en casi todos sus periodos estacionales.

4.3.1. Método Holdridge

Precipitación Media:

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

$$PP_{med} \frac{129,88+125,25+99,30+44,52+8,54+4,72+5,19+9,11+34,58+59,04+125,04}{12} = 54 \text{ mm}$$

Temperatura Media:

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

$$= \text{Mapa Tmedia}$$

$$T_{med} \frac{20,1 + 19,4 + 18,9 + 16,9 + 14,4 + 12,4 + 12,3 + 14,5 + 16,5 + 18,9 + 19,7 + 20,2}{12}$$

$$= 17^{\circ} C$$

La fórmula para determinar la evapotranspiración potencial en milímetros:

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

$$ETPmed \frac{Etp1 + Etp2 + Etp3 + Etp4 + Etp5 + Etp6 + Etp7 + Etp8 + Etp9 + Etp10 + Etp11 + Etp12}{12}$$

$$= Mapa\ ETPmedia$$

$$ETPmed \frac{60,55 + 71,35 + 81,03 + 93,02 + 96,52 + 99,05 + 98,87 + 95,36 + 92,65 + 82,96 + 70,69 + 60,67}{12}$$

$$= 83,56$$

4.3.2. Determinación del balance hídrico:

La fórmula para determinar el balance hídrico es:

$$BH = (Pmed - ETPmed)$$

$$BH = (54 - 83,56)$$

$$BH = -29.56$$

Rango:

$$\text{Exceso Hídrico} > 1$$

$$\text{Estabilidad Hídrico} = 1$$

$$\text{Déficit Hídrico} < 1$$

La Cuenca Campanario Río Grande su demanda de agua supera a la disponibilidad hídrica, y se encuentra en déficit su balance. Esto puede ocurrir por crecimiento poblacional, la agricultura intensiva y cambio climático, que contribuyen a la disminución de las fuentes de agua en la red de drenaje y acuíferos.

Según el balance los meses de diciembre, enero y febrero presenta almacenamiento hídrico presentando en los meses de diciembre 25.98 mm, enero con 31,01 mm y febrero 29,89 mm. Declarando que el mes donde más almacenamiento tiene es enero, y los meses de marzo mediados de noviembre son los que tienen menor precipitación por lo cual entra en estado de déficit la cuenca.

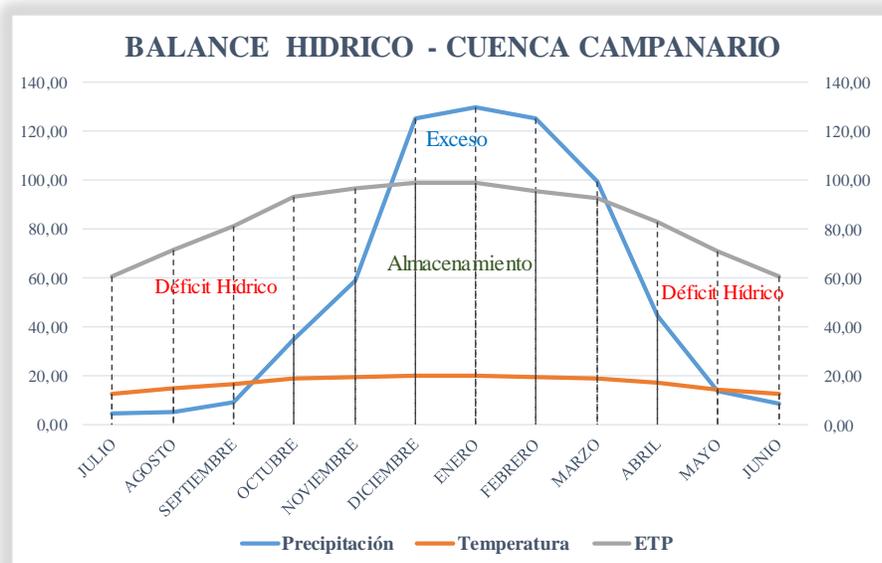
Su evapotranspiración es mucho mayor que su precipitación lo cual da a entender que en la zona de la cuenca que su periodo de lluvias es muy corta y no es suficiente para que los acuíferos se almacenen adecuadamente y haya escasez de agua en época seca.

Cuadro N° 16: Datos de Balance de la Cuenca Campanario Rio Grande

MES	Precip. (mm)	Temp °	ETP	Balance
JULIO	4,72	12,3	60,55	-55,83
AGOSTO	5,19	14,5	71,35	-66,17
SEPTIEMBRE	9,11	16,5	81,03	-71,92
OCTUBRE	34,58	18,9	93,02	-58,44
NOVIEMBRE	59,04	19,7	96,52	-37,48
DICIEMBRE	125,04	20,2	99,05	25,98
ENERO	129,88	20,1	98,87	31,01
FEBRERO	125,25	19,4	95,36	29,89
MARZO	99,30	18,9	92,65	6,66
ABRIL	44,52	16,9	82,96	-38,44
MAYO	13,45	14,4	70,69	-57,24
JUNIO	8,54	12,4	60,67	-52,13

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°5: Balance Hídrico de la Cuenca Campanario promedio (1997-2017)



Fuente: *Elaboración propia*

Para poder comprender mejor este resultado sobre el déficit de la cuenca en cuestión se hizo la interpretación por partes de la cuenca que se clasifico en 3. Ver Anexo N°1 Mapa N° 4

1. Cuenca alta
2. Cuenca media
3. Cuenca baja

CUENCA ALTA.

Esta zona se encuentra ubicada en el borde de la cuenca del lado este que empieza desde norte a sur y un pequeño territorio también por la cercanías entre las comunidades de Guayabillas y La Hondura, es el sector más alto que forma parte del paisaje de montaña alta y que oscila entre las cotas 3436 a 2702 msnm y cuenta con una superficie de 2968,41 ha que es menos del 10.5 de la cuenca.

Forma parte de la región de praderas altimontanos, se caracteriza por tener climas fríos húmedos y fríos semi húmedos y de vegetación herbácea con y sin sinusia arbustivas. Tienen precipitaciones de 162 mm en los meses de enero y 2mm en el mes de julio; estas zonas son el origen y causa de las nacientes y de las quebradas, aquellos cursos de agua que llegan al río principal Orozas. Y sus temperaturas con una máxima de 23,6 y una mínima de 8,5 °C. Sus datos climáticos nos demuestran que es la zona donde más hay caída de lluvia en época de verano.

CUENCA MEDIA

La cuenca media se encuentra distribuida en la mayor parte del área de estudio donde se asemeja en la forma de una V invertida lo que deja a toda la red dentro de ella, surge de norte a sur pasa por la mayoría de las comunidades como por ejemplo ser Alisos, La Hondura, San Francisco Chico, Orozas Centro, Cebolla Waykho y Rumicancha; éstas presentan el tipo de paisajes de serranía baja y media, al este colinda con la montaña alta.

Se caracteriza por tener climas al igual que la cuenca alta, que son los fríos semi húmedos en la mitad al norte y frío húmedos de centro al sur, su altura de la zona se

encuentra entre las cotas de 2702 a 1969 msnm y con una vegetación herbáceas con y sin sinusia y matorrales.

El uso actual de la zona de la cuenca media es de agrosilvopastoril, silvopastoril vacuno, ganadero extensivo con ovinos y caprinos. Y corresponde a las ecorregiones de bosques bajos y matorrales chaco serrano en el norte y sur con praderas altimontanas.

Y sus precipitaciones oscilan desde 122 hasta 4mm y con las temperaturas de 20°C. Su superficie que abarca esta cuenca media es de 17757,92 ha que es el 56 % de la cuenca en estudio.

En la cuenca media sus precipitaciones disminuyen, lo cual hace que la evapotranspiración sea mayor lo cual hace difícil la recarga hídrica y la cobertura vegetal en la zona norte es un poco más escasa la cual hay zonas o sectores donde ya existe erosión del suelo lo cual perjudica en pérdida de sustrato sino también el suelo se permeabiliza.

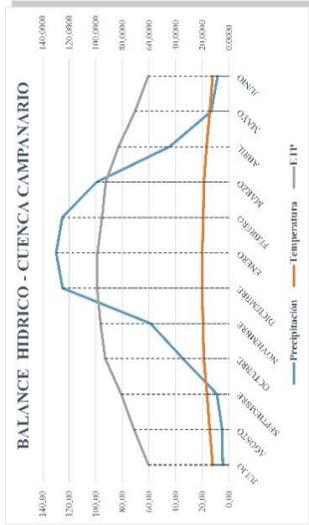
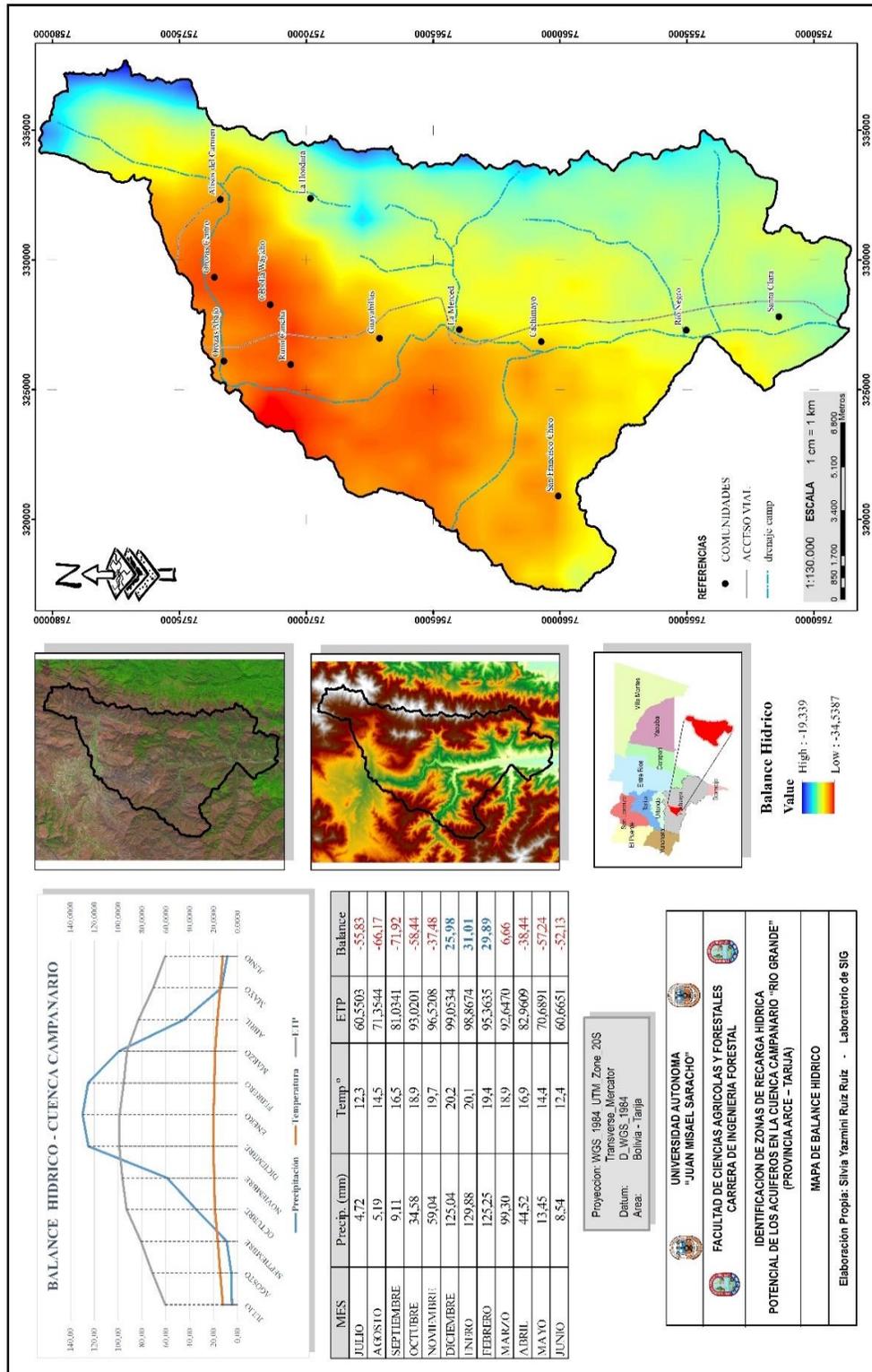
CUENCA BAJA

La extensión del territorio categorizado por cuenca baja esta al centro del área de estudios que es Campanario donde forma parte de las eco regiones de bosque bajo y matorral chaco serrano en el norte y al sur con bosques montano tucumano boliviano, que tienen paisajes desde serranías media y baja, colina media, llanuras fluvio lacustres y valles coluvio aluvial, cuenta con 10563,62 ha que es el 34% de la cuenca Campanario Río Grande.

La cuenca baja se encuentra entre las cotas 1969 a 1236 msnm, predominan el clima de templado húmedo y una pequeña zona al norte es de frío húmedo. Tiene una vegetación variada desde bosques, matorrales y vegetación herbáceas; las actividades de la zona es mayormente agrosilvopastoril en matorral con cultivos anuales, silvopastoril con vacuno y ovino.

Este sector se encuentra dentro de la red de drenaje, en la zona del sur existe más precipitación que el norte no solo por la diferencia de vegetación sino también porque son parte de dos diferentes eco regiones lo cual en la zona baja hay bosques y la alta más matorral o vegetación más baja.

Mapa N° 10: Balance Hídrico.



MES	Precip. (mm)	Temp°	ETP	Balance
JULIO	4,72	12,3	60,5503	-55,83
AGOSTO	5,19	14,5	71,3544	-66,17
SEPTIEMBRE	9,11	16,5	81,0341	-71,92
OCTUBRE	34,58	18,9	93,0201	-58,44
NOVIEMBRE	59,04	19,7	96,5208	-37,48
DICIEMBRE	125,04	20,2	99,0634	25,98
ENERO	129,88	20,1	98,8674	31,01
FEBRERO	125,25	19,4	95,5635	29,89
MARZO	99,30	18,9	92,6470	6,66
ABRIL	44,52	16,9	82,9609	-38,44
MAYO	13,45	14,4	70,6891	-57,24
JUNIO	8,54	12,4	60,6651	-52,13

4.4. Discusión

La presente investigación es sobre la identificación de zonas de recarga hídrica potencial de los acuíferos en la cuenca Campanario Río Grande en la provincia de Arce - Tarija. El cual es para contribuir a la sostenibilidad de las zonas de recarga hídrica y proporcionar información para la gestión y planificación de recursos hídricos en la cuenca.

Los datos y características determinadas en el estudio hecho en la cuenca Campanario como ser de determinar la edad aproximada y las características de su forma y de los atributos del drenaje que tiene; que es una cuenca en periodo de vejez que su densidad del drenaje es bajo, su pendiente es moderada y que tiene diferentes pisos altitudinales como también diferentes estratos de vegetación que influyen demasiado en la captación de agua de lluvia para luego pueda ocurrir la infiltración y almacenamientos de los acuíferos de la cuenca. Gracias a estos antecedentes se pudo sacar el balance hídrico que es una parte esencial para tener conocimiento de cuanto de agua hay disponible y tener un manejo adecuado de este recurso, en el caso de la cuenca Campanario existe un déficit ya que su periodo de lluvia y captación de infiltración es menor a la de la evapotranspiración y la temperatura que tiene la zona.

Comparando investigaciones de Rearte, (2020) y Altamirano, (2017) trabajos que se realizaron en similar paisaje fisiográfico y del mismo departamento de Tarija, específicamente en el valle central en la cuenca de Tolomosa, dichos trabajos nos presenta una cuenca en equilibrio y fase de madurez, se observa que el 51 % de la cuenca presenta una recarga potencial alta presentando una estabilidad hídrica en los meses de noviembre a marzo.

Los resultados obtenidos de la investigación presentan una cuenca en equilibrio y fase de madurez a vejez, se observa que el 68,58 % de la cuenca presenta una recarga potencial moderada presentando una estabilidad hídrica en los meses de diciembre a febrero.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Los parámetros morfométricos, como la pendiente, la forma y la orientación de la cuenca, tienen una correlación significativa con las zonas de recarga hídrica, lo que indica áreas prioritarias para la conservación y gestión del agua.

De acuerdo al resultado de la curva hipsométrica la cuenca está en proceso de vejez ya entrando a edad de longevidad, presentando un área de 312,90 km² o 31290 ha, con un perímetro de 107,59 km, esta cuenca se encuentra entre las cotas de 3436 a 1236 msnm. Tiene un largo de 32,72 km y un ancho de 16,29 km y la red de drenaje está compuesto por 5 órdenes que son desde nacientes, quebradas, ríos terciarios, ríos secundarios y el río principal.

La cuenca Campanario se la categoriza como una cuenca grande ya que sobre pasa el rango de > a 150 km², tiene una forma de ser ligeramente alargada y oval oblonga a rectangular oblonga; su pendiente de la cuenca es empinado lo cual hace que la pendiente de su cauce sea moderadamente inclinado con una densidad de drenaje baja. Los parámetros morfométricos de la cuenca juegan un papel importante en la determinación de las zonas de recarga hídrica, para comprender las características físicas de la cuenca y se pueden utilizar en estudios de gestión de recursos hídricos y modelado de inundaciones.

2.- Se determinaron áreas clave dentro de la Cuenca Campanario Rio Grande que tienen un alto potencial para la recarga de acuíferos, utilizando un enfoque integrado de variables biofísicas y herramientas SIG.

En sus zonas de recarga hídrica se logró categorizar en 5 muy alta, alta, moderada, baja y muy baja; presentando con mayor recarga hídrica con el 68,68 % el rango de moderada con una superficie de 21458,01 Ha, abarcando en todos los niveles altitudinales de la cuenca con presencia de los diferentes estratos en vegetación como bosques, matorral y herbáceas en un clima desde frío semi húmedo a húmedo y

templado semi húmedo a frío húmedo. Con suelos se caracterizan por ser ondulados /cóncavos que tienen un rango de pendiente 15-45, con texturas desde franco, franco arenoso a arcilloso.

La recarga hídrica es de vital importancia para la conservación y el abastecimiento sostenible del agua dulce. Las zonas de potencial hídrico actúan como reservorio natural que permiten la recarga de los acuíferos subterráneos.

3.- El cálculo del balance hídrico, siguiendo la metodología de Holdridge, reveló patrones de disponibilidad de agua que son críticos para la planificación del uso sostenible de los recursos hídricos en la región.

En la fórmula aplicada nos dio como resultado que la cuenca Campanario Río Grande se encuentra en déficit hídrico ya que sus precipitaciones son menores que la temperatura y más que todo de la evapotranspiración.

Lo cual hace difícil que puede efectuar en la cuenca la infiltración del agua en los suelos, rocas y así que ocurra el almacenamiento de los acuíferos subterráneos de la cuenca.

El balance hídrico de la cuenca, mayormente presenta un déficit hídrico en los meses marzo a noviembre quedando como periodos de estiaje, y los meses de diciembre, enero y febrero con exceso hídrico de 86,88 mm año presentando almacenamiento hídrico, con 129,88 mm en el mes de enero siendo su mayor precipitación, siendo estos valores los cuales no son lo suficiente para que pueda durar el año redondo, por eso existe muchos problemas de sequía con los cultivos para su riego y también para el consumo humano y de los animales.

El uso de un SIG es efectivo para integrar diversas variables biofísicas y geográficas en el estudio de las zonas de recarga hídrica.

5.2. RECOMENDACIONES

La combinación de los estudios de parámetros balance hídrico y zonas de recarga que son los 3 objetivos principales de este proyecto nos da una comprensión completa de la dinámica hídrica de la cuenca, como se distribuye y se mueve las aguas dentro de la cuenca e identificar las zonas críticas conservación gestión del agua.

- La protección y conservación de las zonas de recarga, la reforestación, reducción de la impermeabilidad del suelo.
- Implementar prácticas agrícolas sostenibles que minimicen la erosión de suelo y promuevan la infiltración del agua.
- Invertir en infraestructuras hídricas como sistemas de captación y almacenamiento.
- Es recomendable establecer estaciones de monitoreos permanente y realizar un seguimiento continuo de las zonas de recarga hídrica identificadas para monitorear cambio en el tiempo.
- Se recomienda estudios adicionales para validar y refinar los resultados obtenidos.
- Promover un enfoque de MIC y GIRH que involucre a las comunidades locales, autoridades para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico.