

## **CAPITULO I**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Cambio climático se entiende el calentamiento global observado en la superficie terrestre a causa del incremento registrado en la atmósfera de ciertos gases que contribuyen al llamado efecto invernadero. La ciencia no tiene actualmente dudas sobre la consistencia de esta teoría, como tampoco de que la acumulación de dichos gases se debe a actividades humanas. Por ello, a menos que se acuerden medidas mitigadoras a escala global, este proceso podría llegar a provocar en el futuro indeseables impactos sobre el clima de muchas regiones del planeta a lo largo de este siglo y venideros, con repercusiones en los sistemas ambientales, la economía y la sociedad. La evaluación de estos posibles impactos se realiza en función de proyecciones sobre la magnitud y distribución de las alteraciones climáticas futuras según diversos escenarios posibles. Para ello se utilizan sofisticados y complejos modelos matemáticos que son capaces de simular los principales procesos que determinan el clima actual y que atribuyen inequívocamente el calentamiento global observado al aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. (De Castro, Ramis, Cortarelo, & Riechmann, 2005).

En los últimos 150 años se ha evidenciado una elevación de la temperatura superficial promedio del planeta. Desde 1850, los años más cálidos en el registro de temperatura del aire superficial mundial fueron 1998 y 2005. El periodo 1995- 2006 se clasifica como uno de los de mayor grado de calor. La temperatura superficial media mundial aumentó a partir de 1950 en  $0,76 \pm 0,19^{\circ} \text{C}$  y la tendencia lineal del calentamiento global muestra que este fenómeno se ha acelerado en los últimos 50 años. (PNUD, 2011)

La tecnología sin duda fue un aporte bastante grande en relación a la contaminación y al cambio climático haciendo que se sienta mucho más en los últimos años a nivel global.

El clima en el Estado Plurinacional de Bolivia depende mucho de la distribución altitudinal del territorio.

Casi un tercio del país se localiza en regiones con altura menor de 500 metros sobre el nivel del mar, otro tercio se encuentra entre 500 y 2.500 metros sobre el nivel del mar y el resto del territorio (zona andina) está por arriba de esa altura. La parte baja se puede dividir en por lo menos dos regiones: una húmeda ligada al área amazónica y otra mucho más seca en la zona denominada Chaco. La región de altura intermedia se caracteriza por tener un alto gradiente altitudinal, con una alta precipitación por convección orográfica en la zona. Esta área presenta regiones que se destacan a nivel mundial por su importante biodiversidad. A su vez, las zonas altas son regiones con bajas precipitaciones y temperaturas. En este caso, la precipitación depende mucho del transporte de humedad desde el área amazónica; llega al máximo durante la época de lluvias, por lo general entre diciembre y febrero, y se inhibe casi por completo en la época seca. (NUB, 2014)

Menciona que Históricamente, el clima del Estado Plurinacional de Bolivia ha variado por causas naturales. Estas variaciones son evidentes en los estudios de hielo de glaciares, de sedimentos de lagos, de anillos de árboles y, para los últimos 50 a 100 años, de registros directos de precipitación y temperatura. A la variabilidad natural se suman las actividades humanas, que afectan el clima a nivel mundial de manera significativa a través de emisiones de gases de efecto invernadero. (NUB, 2014).

Desde hace algún tiempo, Bolivia siente los impactos del aumento en frecuencia e intensidad de los eventos climáticos como sequías, inundaciones, deslizamientos, granizadas, heladas, incendios y temperaturas extremas, situación que ha agravado los factores internos de vulnerabilidad existentes en el país.

En el departamento de Tarija se puede determinar que el cambio climático puede llegar de una manera que cause estragos en el mismo lo cual es impredecible las fechas de lluvias y demás y como consecuencias tienen fenómenos naturales muy fuertes en algunas regiones del departamento

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El cambio climático se ha convertido en un problema ambiental, social, económico, etc. El presente trabajo se justifica; porque el cambio climático se manifiesta por un incremento de la temperatura y tiene repercusiones en el régimen de lluvias y en la evapotranspiración y todo lo que abarca el ciclo hidrológico lo cual es un factor, muy importante a considerar a futuro porque en las cuencas es proceso que no debe faltar ya que es importante en su desarrollo por tanto se debe tomar decisiones sobre el mismo.

Por tanto, la pregunta es la siguiente: ¿Qué pasaría con la disponibilidad de agua en la cuenca de Yesera en el departamento de Tarija al aumentar la temperatura y al aumento y disminución de la precipitación debido al cambio climático?

La mayoría de los Planes de Manejo Integral de la Cuenca (PMIC) no cuentan con información hidrológica precisa, muchas veces sólo contienen una descripción cualitativa de la red de drenajes. Esto implica que no se conoce con exactitud la disponibilidad de agua y no se cuenta con una base sólida para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH), lo que a futuro puede generar conflictos. (Torrico, 2011).

La falta de información hidrológica en los PMIC puede tener diferentes causas, por ejemplo:

- ❖ Carencia de estudios hidrológicos o estudios elaborados en forma incompleta.
- ❖ Ausencia de estaciones meteorológicas en las cercanías de las cuencas en estudio.
- ❖ Difícil accesibilidad a datos meteorológicos.
- ❖ Deficiente calidad de los datos meteorológicos.

De lo anterior se deduce la importancia de consolidar metodologías prácticas, viables y suficientemente exactas para determinar balances hídricos en subcuencas y microcuencas de Bolivia.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar modelos hidrológicos como consecuencia del incremento de la temperatura media en la cuenca en condiciones de aumento y disminución de la precipitación mediante el empleo de herramientas geomáticas en la cuenca pedagógica Yesera.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- ❖ Determinar el balance hídrico actual de la cuenca de Yesera mediante datos climáticos como: precipitación, temperatura, radiación solar que posibiliten el cálculo de la evapotranspiración potencial empleando el método de Hargreaves.
- ❖ Establecer modelos de balance hídrico de acuerdo al incremento de la temperatura como factor principal y el aumento y disminución de la precipitación como factor secundario utilizando el mismo método establecido en el primer objetivo.
- ❖ Determinar que comunidades de la cuenca en general son las afectadas y de acuerdo a los modelos que se proporcionan mediante el uso de elementos cartográficos y el uso de los mapas obtenidos.

#### **1.3.3 Hipótesis**

Los modelos de balance hídrico dependen de la variación de la temperatura y precipitación y lo cual permiten zonificar espacialmente áreas con excesos y déficit de agua en la cuenca de Yesera y nos podrá permitir determinar distintos modelos lo cual se representan tanto como modelos optimistas y modelos pesimistas.

## **CAPÍTULO II**

### **II. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 cambio climático**

El cambio climático, lo mismo que la evolución demográfica, la brecha norte sur o la globalización, ha accedido a los primeros puestos del ranking de preocupaciones sociales, a pesar de las incertidumbres, y esto es así porque su principal responsable son las actividades humanas, por los efectos medioambientales y sobre la salud de la población y, sobre todo, porque es otra cuestión más de países desarrollados y subdesarrollados, pobres y ricos, de justicia o de inequidad, de repartir cargas y esfuerzos, de tensiones entre explotadores de recursos y sociedades explotadas o, simplemente, de controlar el uso de combustibles y del uso de la tierra y, en resumen, de actuar con responsabilidad para esta y sucesivas generaciones, cuyo bienestar debe mejorarse con el desarrollo tecnológico.

El sistema climático es un sistema complejo e interactivo, considerado por la Convención de las Naciones Unidas de 1992, integrado por atmósfera, hidrosfera, geosfera, la biosfera y sus interacciones, junto a los distintos ecosistemas en los que habitan los seres vivos, con todas sus interacciones, positivas y negativas, y sus consecuencias. (Useros, 2012)

##### **2.1.1 Efecto invernadero**

Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de una atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. De acuerdo con el actual consenso científico, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debida a la actividad económica humana. (Larios, 2008)

La Tierra, como todo cuerpo caliente, emite radiación, pero al ser su temperatura mucho menor que la solar, emite radiación infrarroja de una longitud de onda mucho

más larga que la que recibe. Sin embargo, no toda esta radiación vuelve al espacio, ya que los gases de efecto invernadero absorben la mayor parte. La atmósfera transfiere la energía así recibida tanto hacia el espacio (37,5%) como hacia la superficie de la Tierra 12 (62,5%). Ello representa  $324 \text{ W/m}^2$ , casi la misma cantidad de energía que la proveniente del Sol, aún sin el albedo. De este modo, el equilibrio térmico se produce a una temperatura superior a la que se obtendría sin este efecto. La importancia de los efectos de absorción y emisión de radiación en la atmósfera son fundamentales para el desarrollo de la vida tal y como se conoce. De hecho, si no existiera el efecto invernadero, la temperatura media global de la superficie de la Tierra sería de unos  $22^\circ\text{C}$  bajo cero y gracias a él ha sido de  $14^\circ\text{C}$  para el período 1961-90. (Larios, 2008)

### **2.1.2 Gases de efecto invernadero**

Los gases invernadero absorben longitudes de onda larga de la radiación calorífica. El dióxido de carbono, contribuyen en un 62% al calentamiento global, por lo que se considera el gas invernadero más importante. (Delibes & Delibes de Castro, 2005)

Sin embargo, también se ha observado un gran aumento en las concentraciones de otros gases invernadero como el metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), clorofluorocarbonados (CFCs), y ozono ( $\text{O}_3$ ).

Este mismo autor sostiene. Estos por un lado son de larga duración en la atmósfera y absorben fuertemente la radiación calorífica, por lo que su contribución al calentamiento global es elevada a pesar de sus pequeñas concentraciones en comparación con el  $\text{CO}_2$ . (Delibes & Delibes de Castro, 2005).

**Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )** se produce cuando cualquier forma o compuesto de carbono se quema en exceso de oxígeno. Sin la intervención humana, sería liberado a la atmósfera en erupciones volcánicas, incendios forestales naturales, así como en la descomposición de materia orgánica en exceso de oxígeno y en los procesos respiratorios. Desde el comienzo de la Revolución Industrial, las emisiones y concentraciones de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera se han incrementado constantemente debido a la rápida combustión de combustibles fósiles. El dióxido de carbono no es el único

gas invernadero importante, pero es el que se encuentra en mayor porcentaje (cerca del 60%) de los gases que causan el efecto invernadero inducidos por el hombre. (Delibes & Delibes de Castro, 2005).

**Metano (CH<sub>4</sub>)** se libera a la atmósfera cuando la materia orgánica se descompone en ambientes carentes de oxígeno. Las emisiones naturales proceden de humedales, termitas, y océanos. Las fuentes humanas incluyen la extracción y quema de combustibles fósiles, la cría de ganado, los arrozales y la descomposición de residuos en vertederos. Por ejemplo, cuando el ganado digiere el alimento, las bacterias intestinales liberan enormes cantidades de metano. Hay estudios que demuestran que el ganado puede eructar a un ritmo de dos veces por minuto, liberando una media de 908 gramos de metano por vaca, al día. Otras fuentes biológicas de metano son los arrozales. Los tallos de arroz actúan como pequeños tubos para el escape para el metano, que se libera en los suelos encharcados. El metano también se produce en cantidades considerables por acción de las termitas. Las termitas también producen metano en sus digestiones. Se ha demostrado que el metano es el gas invernadero que más está aumentando. Muchos científicos creen que la destrucción de las selvas tropicales puede ser una de las razones para el aumento de las concentraciones globales de metano. Se piensa que cuanto más se talan los bosques, más árboles muertos pueden ser atacados por termitas, aumentando así las concentraciones de metano. Pero las fuentes del aumento de las concentraciones de metano y sus efectos en el clima a largo plazo son aún desconocidos. (Delibes & Delibes de Castro, 2005).

**Óxido nítrico (N<sub>2</sub>O)** se produce por la acción microbiana sobre los compuestos del nitrógeno – por ejemplo, fertilizantes agrícolas – en el suelo y en el agua. Los océanos y ecosistemas tropicales emiten N<sub>2</sub>O de forma natural. Las emisiones humanas proceden de la quema en plantas de biomasa, combustibles fósiles y de la producción de nylon. Informes de científicos de la Universidad de California demostraron que la liberación de N<sub>2</sub>O durante la fabricación del nylon puede suponer cerca del 10 del aumento total de N<sub>2</sub>O. Descubrieron que el N<sub>2</sub>O era un subproducto significativo en la producción de ácido adípico, el ácido que forma el polímero de nylon. Otra fuente

de N<sub>2</sub>O es el uso de fertilizantes en agricultura, coches con convertidos catalítico y la quema de materia orgánica. (Delibes & Delibes de Castro, 2005)

### **2.1.3 Variabilidad de la precipitación**

Según UNICEF (2012). señala que el actual periodo de lluvias se ha retrasado en dos meses, en relación a 10 años atrás, lo que coincide con reportes científicos sobre el tema. El periodo de lluvias continúa hasta el mes de junio para las comunidades del chaco; hasta el mes de mayo para las del valle, y hasta el mes de abril para las comunidades andinas y del Beni, lo que muestra un retardo en la duración de 1 a 4 meses, si consideramos a marzo como el fin histórico del periodo de lluvias. (Delibes & Delibes de Castro, 2005).

El 38% de las comunidades se abastece de vertientes y, en menor porcentaje, del agua de pozos o norias y ríos, existe un elevado porcentaje de percepción de reducción de la disponibilidad del agua (76,15%) proveniente de estas vertientes, ríos, pozos o norias.

### **2.1.4 Variabilidad de la temperatura**

Bolivia emitía, el año 2000, alrededor del 0,17% del total equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>-eqv), liberado a la atmósfera por el ser humano. Si bien se registró un incremento en comparación con 1990, cuando la emisión era menor al 0,1% (PNCC, 2003), se trata de un porcentaje tan pequeño que es de muy poca relevancia, respecto a países como Estados Unidos o la China, que emiten alrededor del 20% (WRI, 2005) del total global por año de (CO<sub>2</sub> -eqv), pese a que la población china es cuatro o cinco veces más grande que la estadounidense. (Nordgren, 2011)

No obstante, estos reducidos volúmenes de GEI emitidos en el país y, por tanto, la baja responsabilidad de haber contribuido al cambio climático, Bolivia es un país en particular vulnerable, por estar expuesto a una serie de impactos negativos de la modificación de los patrones climáticos. (Nordgren, 2011)



## **2.2 Balance Hídrico**

El balance hídrico es una herramienta que permite conocer características de la cuenca. El balance hídrico de una cuenca es fundamental para el conocimiento del afluente y su capacidad de abastecimiento a las poblaciones aledañas que se verán beneficiadas con el recurso, desde el punto de vista teórico el análisis de este permitirá realizar juicios para el uso del afluente como el principal y conseguir un uso más racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo con la construcción de obras de captación para posterior distribución. El balance hídrico brindará información acerca de la capacidad del río y los meses del año en el cual el afluente aumenta su caudal o por el contrario lo disminuye como también pondrá permitir realizar predicciones hidrológicas, basado en datos que son registrados por las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio. (Diaz, 2018).

Hoy en día, se tienen herramientas computacionales de sistemas de información geográfica como QGIS y ArcGIS que permiten a partir de un mapa de isolíneas elaborado con valores de climatológicos reales; hallar valores medios de precipitación, escorrentía y evaporación, para un área específica y esto junto con la morfometría de la cuenca, ayudan a encontrar el resultado final el balance hídrico. (Diaz, 2018).

### **2.2.1 Descripción de componentes del balance hídrico**

En el balance hídrico de una cuenca, toda la información debe encontrarse integrada, con lo cual cada componente poseerá metodologías diferentes de integración. A continuación, se realiza una descripción general de la información disponible y un resumen de la integración de cada variable. (Vargas, De la Fuente, & Arumi, 2012)

- **Infiltración**

La infiltración es el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. (Aparicio & Francisco, 1992)

La cantidad de agua que atraviesa la superficie del terreno por unidad de tiempo y se desplaza al subsuelo recibe el nombre de ritmo o tasa de infiltración. El

suelo puede estar formado por un medio poroso, por roca consolidada fracturada, o por una combinación de ambos. (Breña & Jacobo, 2006)

- **Escurrimiento**

El escurrimiento se la define como la porción de la precipitación pluvial que ocurre en una zona o cuenca hidrológica y que circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca o bien alimentar un lago. (Breña & Jacobo, 2006)

El escurrimiento que se presenta en un cauce es alimentado por cuatro fuentes:

- a. **Precipitación directa sobre el cauce.** Aporte modesto comparado con volúmenes de las otras fuentes, debido a la pequeña superficie que abarcan las corrientes. (Breña & Jacobo, 2006).

- **b. Flujo subsuperficial.** Varían en el tiempo y en el espacio, en época de estiaje descargan a un ritmo casi constante, formando las corrientes perennes y en otros casos sólo aportan cantidades suficientes para mantener por algunas semanas más el cauce, formando así las corrientes intermitentes. (Breña & Jacobo, 2006)

- c. Flujo base.** Aporte de un sistema acuífero somero a un cauce determinado.

- d. Escurrimiento directo.** Volumen asociado a la precipitación.

- **El Caudal**

El caudal o gasto de una corriente es el volumen de agua que pasa por una sección transversal del cauce o canal en un tiempo dado, normalmente en la unidad de tiempo. (Basan, 2008).

### 2.2.2 Evaporación y transpiración

La evaporación y la transpiración son procesos interdependientes que se realizan en la naturaleza en forma simultánea. Debido a la dificultad de discriminar evaporación y transpiración se introdujo el concepto de evapotranspiración. La unidad usual con la que se expresan estos tres términos es el milímetro de altura de agua, referido siempre a un determinado intervalo de tiempo. La unidad de tiempo puede ser una hora, un día o más, un mes o incluso un período completo de cultivo o un año. Dado que una

hectárea tiene una superficie de  $10000 \text{ m}^2$  y 1 mm es igual a 0,001 m, una pérdida de 1 mm de agua corresponde a una pérdida de  $10 \text{ m}^3$  de agua por hectárea. Es decir, 1 mm/día es equivalente a  $10 \text{ m}^3/\text{ha día}$ . La altura del agua también puede expresarse en términos de la energía recibida por unidad de área. Esto último se refiere a la energía o al calor requerido para vaporizar el agua. Esta energía es una función de la temperatura del agua. Por ejemplo, a  $20^\circ\text{C}$ , el calor latente de vaporización tiene un valor de 2,45 MJ/kg. Es decir, 2,45 MJ son necesarios para vaporizar 1 kg de agua (o  $0,001 \text{ m}^3$  de agua, aproximando la densidad del agua a  $1000 \text{ kg/m}^3$ ). Por lo tanto, un aporte de energía de  $2,45 \text{ MJ/m}^2$  puede vaporizar 0,001 m o 1 mm de agua. De esta manera, 1 mm de agua es equivalente a  $2,45 \text{ MJ/m}^2$ . La evaporación o la evapotranspiración expresadas en unidades de  $\text{MJ/m}^2 \text{ día}$  se calcula como el producto entre la evapotranspiración y el calor latente. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

### **2.2.3 Evapotranspiración Potencial**

En condiciones naturales, la evaporación y la transpiración son fenómenos interdependientes. La pérdida de agua producida a causa de estos dos procesos se engloba bajo el concepto de evapotranspiración (ET).

El concepto de evapotranspiración potencial (ETP) fue definido por Thornthwaite (1948) como el máximo de evapotranspiración que depende únicamente del clima. Según este autor, no hay ninguna restricción de agua en el suelo y su magnitud depende exclusivamente del clima. Por su parte, Penman (1956) define la evapotranspiración potencial como la cantidad de agua transpirada por un cultivo corto de césped que cubre el suelo en su totalidad y sin falta de agua. Incorpora así al concepto de evapotranspiración potencial no sólo el clima, sino también las condiciones del cultivo y el agua en el suelo. Justamente, los dos factores que ejercen mayor influencia sobre la evapotranspiración son el desarrollo vegetal de la planta y el contenido de humedad del suelo, los cuales son muy variables y difíciles de medir. Incorporando estos dos factores, el concepto de evapotranspiración potencial se define, entonces, como la máxima evapotranspiración posible que se produce en condiciones favorables cuando

el suelo está bien provisto de agua y tapizado por una vegetación o cubierta vegetal densa y bien extensa, pareja y de poca altura (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Es un concepto establecido para indicar el vapor de agua que se transfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia, se ha utilizado como cultivo de referencia la alfalfa o un pasto bien regado, en pleno desarrollo y en buenas condiciones fitosanitarias. (Hargreaves & Samani, 1982)

#### **2.2.4 Método de Hargreaves**

Es un método sencillo debido a que utiliza principalmente información de temperatura máxima y mínima, y se aplica a través de la siguiente ecuación:

$$ET_o = \Sigma^{12} * 0,00135 * (T_{med} + 17,78) * R_s$$

Donde  $ET_o$  es la evapotranspiración del cultivo de referencia [ $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ];  $R_s$  es la radiación extraterrestre [ $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ] que depende de la latitud y el mes del año;  $T$ ,  $T_{max}$  y  $T_{min}$  representan el valor medio, máximo y mínimo de la temperatura del aire [ $^{\circ}\text{C}$ ], respectivamente.

Adicionalmente, se adaptó la ecuación de Hargreaves a condiciones locales correlacionando sus resultados con los obtenidos con la ecuación de PM Allen et al., (1998) y se determinaron coeficientes empíricos para obtener una ecuación ajustada de Hargreaves.

#### **2.2.5 Temperatura**

La temperatura es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente. Dicha magnitud está vinculada a la noción de frío (menor temperatura) y caliente (mayor temperatura). La temperatura está relacionada con la energía interior de los sistemas termodinámicos, de acuerdo al movimiento de sus partículas, y cuantifica

la actividad de las moléculas de la materia a mayor energía sensible, más temperatura. (Lopez, 2011).

La evaporación aumenta con la temperatura al afectar directamente la tensión de vapor de saturación. A mayor temperatura, la tensión de vapor de saturación es mayor, ya que la energía cinética de las moléculas aumenta. Pero el incremento de la temperatura del aire ambiente elevará tanto la tensión de vapor en el aire, como en el agua. Debido a que la evaporación es proporcional al déficit de tensión de vapor, incrementos iguales pueden no conducir a un aumento de la evaporación. Para que la evaporación continúe debe comunicarse una cantidad de calor igual a la pérdida por evaporación. De otra forma, al igualarse las temperaturas de aire y de agua, la evaporación cesa. (Lopez, 2011).

#### **2.2.6 Radiación solar incidente**

Se considera fundamental para optimizar la producción agrícola y forestal. El análisis de estas variables también resulta interesante para otros tipos de aplicaciones como, por ejemplo, mejorar la eficiencia energética en las edificaciones. Cuando visualizamos la posición del sol en el cielo observamos que varía tanto a lo largo del día como durante las distintas estaciones del año. Estas variaciones dependen de la geometría de la órbita anual de la Tierra alrededor del sol y de la rotación diaria de la Tierra sobre su eje.

La inclinación de los rayos solares incidentes sobre una superficie determina la intensidad de la radiación solar sobre la misma. Si los rayos inciden perpendicularmente sobre la superficie, esta recibe la máxima radiación solar. (Carrascosa, 2006)

#### **2.2.7 Radiación Solar Extraterrestres**

La radiación solar extraterrestre es la energía que recibe, durante un periodo de tiempo, una superficie del plano tangencial al planeta Tierra en un punto situado al exterior de la atmósfera; plano que será también el plano horizontal de ese punto. Se trata por lo tanto de una densidad de flujo de radiación solar, con unidades, en el Sistema Internacional. (Carrascosa, 2006).

### **2.3 Cuenca Pedagógica**

La cuenca pedagógica se toma en cuenta de acuerdo al proyecto de cuencas pedagógicas del ministerio de medio ambiente y agua lo cual se tomará en cuenta el balance hídrico de dicha cuenca pedagógica lo cual se tomará en cuenta el déficit o incremento de agua en la misma.

La “Cuenca Pedagógica” se define como “una Escuela de Gestión Social y Comunitaria del Agua, donde el encuentro entre el saber local de las comunidades y el conocimiento académico-institucional, desarrolla y fortalece las capacidades de los actores locales, cuadros de autoridades, líderes, y profesionales en cuanto a prácticas, técnicas, formas organizativas interculturales y, sobre todo, modelos o mecanismos de gestión solidaria-recíproca complementaria-equitativa del agua en la cuenca, en base a la valorización de las culturas comunitarias del agua en armonía con los otros componentes de la Madre Tierra y las necesidades productivas de la población. Esta interacción intercultural de saberes genera tecnología y ciencia del propio pueblo, replicable por los participantes en cuencas aledañas o de otros municipios”. Un elemento central del Programa “Cuencas Pedagógicas”, es promover el encuentro entre saberes locales y conocimientos académico-universales. Con ello se busca una revaloración de conocimientos ancestrales (en lo cultural, lo organizacional y lo tecnológico, etc.), que hayan demostrado ser valiosos para el buen manejo de los recursos naturales y del territorio, normalmente poco reconocidos por académicos y otros profesionales en la búsqueda de “soluciones para el desarrollo”. Por otro lado, no se trata de desmerecer el aporte de la ciencia moderna, sino más bien de procurar que ésta se encuentre, interactúe y se integre con la realidad y el conocimiento local. (MMAyA, 2018).

El concepto “Cuenca Pedagógica”, adquirió una forma más programática, cuando a partir del año 2010, el VRHR (viceministerio de recursos hídricos y riego), empezó a socializar y coordinar y, en algunos casos, realizar acciones con varias instituciones interesadas en los espacios territoriales de un total de seis microcuencas. (MMAyA, 2018).

En cada cuenca pedagógica, una institución se constituye en facilitadora y asume el proceso de preparación e implementación del programa, mediante un proyecto específico orientado a una microcuenca, en coordinación con actores locales (“Organismo de Gestión de Cuenca” OGC, municipio y otras instituciones). (MMAyA, 2018).

## **CAPÍTULO III**

### **III. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

#### **3.1 Localización de la zona de estudio**

Se ubica en el Departamento de Tarija, Provincia Cercado, Municipio de Cercado, en las Comunidades (MMAyA, 2018):

- Comunidades: Yesera Centro, Yesera Sud, Yesera Norte, Yesera San Sebastián, Caldera Grande y Chiguaypolla

La Cuenca Pedagógica Yesera, tiene una superficie de 211.3 Km<sup>2</sup> una distancia longitudinal considerando el ir principal de 29.30 km, una cota máxima de 3271 y una mínima de 2069 m.s.n.m, tiene la función de recarga hídrica. Presenta un perímetro de 72.90 Km. (MMAyA, 2018)

Mediante este proyecto se toma en cuenta que la subcuenca de yesera será nominada como “cuenca pedagógica” de acuerdo al ministerio de medio ambiente y agua.

De acuerdo a la clasificación y codificación de cuencas PFAFSTERTTER, el área de interés para el presente trabajo está constituido por una cuenca y una intercuenca, la más pequeña denominada Caldera Grande corresponde a la unidad hidrográfica 858988 a un nivel 6 de la respectiva clasificación corresponde a una cuenca, la segunda la más grande denominada Yesera por el nombre de cauce principal cuya unidad hidrográfica es 858989 a un nivel 6 de clasificación corresponde a una intercuenca. (MMAyA, 2018).

#### **3.2 Ubicación Geográfica**

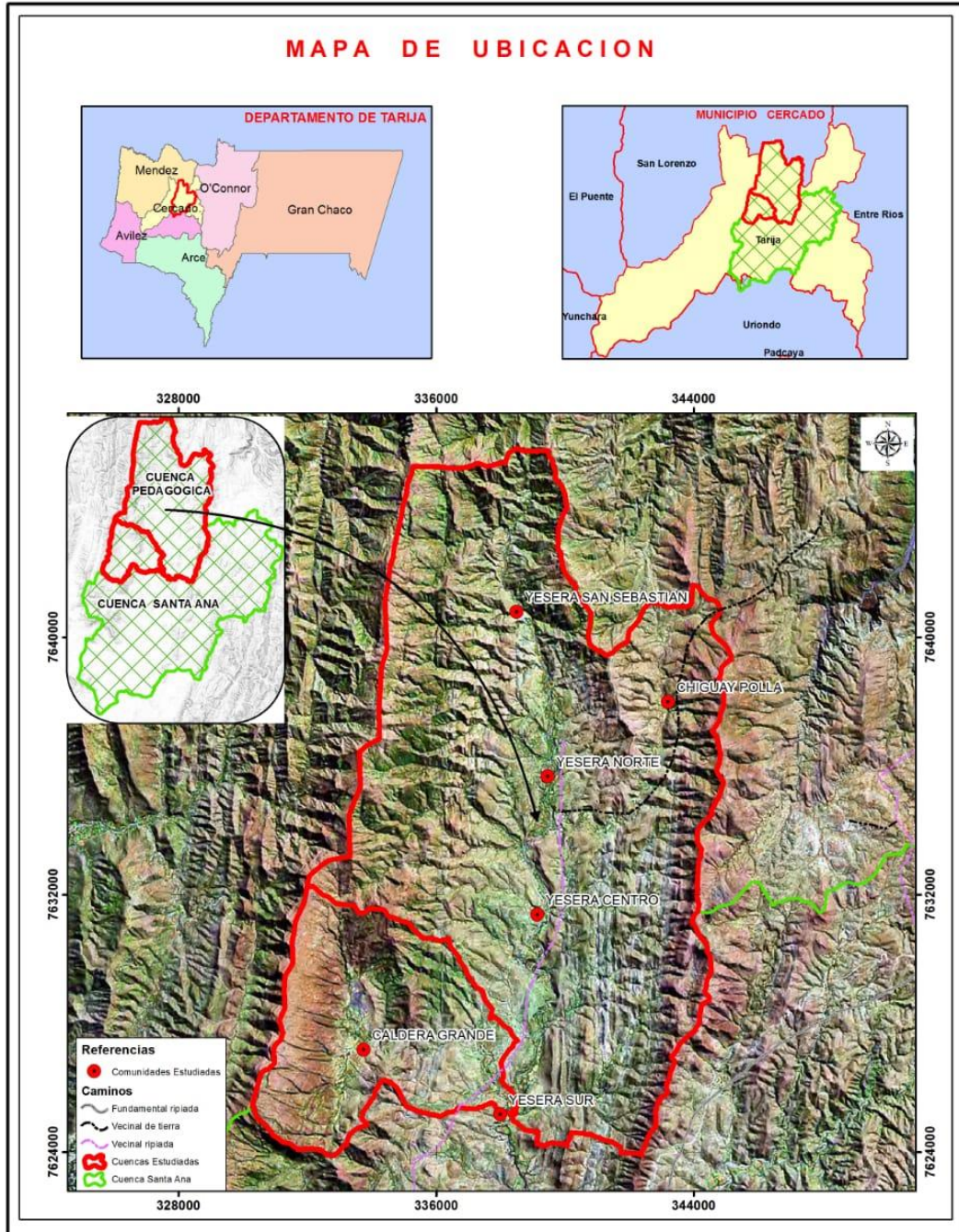
Geográficamente se encuentra ubicada entre los paralelos 21°17'20" y 21°28'10" de Latitud Sur y meridianos 64°29'46" y 64°38'27" de Longitud Oeste. (MMAyA, 2018).

El mapa de ubicación se muestra en la siguiente página.



### 3.3 Mapa de Ubicación.

Mapa 1. Ubicación de la cuenca Yesera departamento Tarija.



Fuente: (MMAyA, 2018).

### **3.4 Características biofísicas**

#### **3.4.1 Clima**

El clima en la zona tiene características de semiárido, en las zonas altas de la cuenca la vegetación es dispersa y de poca altura, en las zonas medias y bajas la vegetación es más abundante teniendo características de valle, con árboles de buen tamaño y vegetación variada. (MMAyA, 2018).

La cuenca Yesera, por su configuración se puede mencionar que está caracterizado por presentar un clima templado árido de verano e invierno frío semiárido

#### **3.4.2 Análisis de Temperaturas**

En esta zona las temperaturas más altas se presentan en el periodo de octubre a marzo que corresponde a la estación del verano.

Las temperaturas más bajas se presentan en los meses de mayo y julio que corresponden al invierno. Entre las temperaturas medias máximas y mínimas existe una variación promedio de 14 °. (MMAyA, 2018).

-Temperaturas mensuales (medias, máximas y mínimas).

Temperatura media mensual del área de intervención según la estación meteorológica Yesera Sud es de 16.6°C con oscilaciones anuales entre 12,4°C a 20.5°C., con temperaturas máximas extremas que llegan a los 39°C y mínimas extremas en los meses de invierno el termómetro baja hasta los -10°C, con fríos que limitan en general la producción agrícola. Los meses más cálidos son octubre, noviembre, diciembre y enero; mientras que los más fríos son junio y julio. (MMAyA, 2018)

#### **3.4.3 Precipitaciones**

Las precipitaciones se producen sobre todo en el periodo de octubre a abril con generación de escorrentía superficial. (MMAyA, 2018)

En el periodo de mayo a septiembre existe escasa precipitación, esta no genera escorrentía superficial.

En el periodo de abril a septiembre se presentan días en que la precipitación máxima diaria supera a la precipitación media mensual.

En el periodo lluvioso de octubre a marzo las precipitaciones máximas diarias no superan a las precipitaciones medias mensuales.

-Precipitación media mensual

La precipitación media mensual del área de intervención es de 55,1 mm, lo cual nos permite clasificar al lugar como un clima templado medianamente seco. En cuanto a la precipitación anual promedio es de 661,9 mm. (MMAyA, 2018)

#### **3.4.4 Esguerrimiento**

Los aforos que se disponen son de corto periodo, por lo tanto, no son del todo representativos para la situación actual. (MMAyA, 2018)

El esguerrimiento en la zona es proporcional a las precipitaciones y además coinciden en tiempo, los mayores caudales se presentan en los meses lluviosos: diciembre, enero, febrero y marzo. En este periodo el agua es abundante, incluso se tiene excedentes que no se aprovechan dentro de la cuenca. (MMAyA, 2018).

Los restantes meses sin lluvia los caudales reducen notablemente teniendo una media de 45 l/s.

El caudal mínimo para un periodo de retorno de 90 años es de 11.66 l/s. Esto indica que de ninguna manera el río podrá abastecer todo el año de una buena cantidad de agua para los diferentes usos. (MMAyA, 2018).

Existen tierras cultivables pero el agua en los meses secos no alcanza, se necesita regulación del agua mediante represas y fomentar el riego más eficiente en la aplicación del agua pudiendo ser por goteo y aspersion. (MMAyA, 2018).

### **3.4.5 Usos actuales de los recursos hídricos**

Los usos actuales de los recursos hídricos son de aprovechamiento para la producción agropecuaria, en la cuenca Yesera se identificaron diecisiete presas de agua, destinadas para riego principalmente, permitiendo cubrir aproximadamente entre el 55 a 60% de la demanda de riego. Sin embargo, el uso del agua no es eficiente puesto que se practica un riego tradicional por inundación, provocando una no optimización de este recurso vital, además de la erosión a los suelos. (MMAyA, 2018).

### **3.4.6 Análisis de la calidad de agua**

La calidad del agua es uno de los aspectos hidrológicos que condicionan la oferta hídrica y que se encuentra estrechamente relacionada con la carga contaminante generada por los diferentes usos de la tierra en la cuenca. (MMAyA, 2018).

De acuerdo a los resultados proporcionados sobre los parámetros analizados, se puede evidenciar que ninguno supera los límites permisibles, por lo que se le puede ubicar en la categoría A de la calidad de aguas consideradas por la Ley del Medio ambiente 1333.

### **3.4.7 Geología**

Las estructuras geológicas de la zona están conformadas por serranías bajas de la formación Icla, Santa Rosa y Guamampampa, cuyas colinas están conformadas por rocas de origen sedimentario; de lutitas y limolitas mecáceas, gris oscuras; areniscas sabulíticas blanquecinas y areniscas arcósicas gris marrón y limolitas gris oscuras, de la era paleozoica y periodo devónico. También se tiene la formación Yesera, del periodo terciario, conformada por conglomerados, areniscas arcillosas, limolitas y arcillas rojas. (MMAyA, 2018).

En la parte baja se tienen pie de montes de poca magnitud y antiguas terrazas en depósitos fluvio-lacustres del cuaternario, conformado por gravas, arenas, limos y arcillas, en algunos sectores también existe la presencia en superficie de bloques y fragmentos de rocas especialmente en los taludes. (MMAyA, 2018)

El valle de la quebrada “Payuyo” morfológicamente tiene una formación de valle joven, transversalmente forma de “V” y en la desembocadura con el río Santa Ana, morfológicamente tiene la forma de “U” con unidades características de un valle casi maduro, es decir terrazas aluviales.

De acuerdo a la unidad en el mapa de se puede observar que en la cuenca de Yesera se tiene una sola unidad, representado por areniscas, lutitas y limolitas que se encuentra en toda la micro cuenca.

**Tabla1. Descripción geológica**

<b>Símbolo</b>	<b>Periodo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Sup_Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
D	Devónico	Areniscas, lutitas y limolitas	19726,19	93,4
S	Silúrico	Areniscas, cuarcitas y diamictitas	865,5	4, 1
C	Cuaternario	depósitos aluviales, fluviolacustres y coluviales	536,2	2,5
		<b>TOTAL</b>	<b>21131,6</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** (MMAyA, 2018).

En cuanto a la geomorfología, la cuenca de intervención, se encuentra en el interior de la cadena montañosa de la Cordillera Oriental de Los Andes. Está constituida predominantemente por rocas de los sistemas Devónico (lutitas, limolitas, areniscas), con presencia de Cuaternario en la parte central de las subcuencas de Calderas y Yesera. Esto determina cuencas que tienen la característica de ser prevalentemente impermeables, respecto a la formación de aguas subterráneas profundas. Además, las pendientes de las laderas son bastante fuertes lo que favorece el rápido escurrimiento superficial. (MMAyA, 2018)

Desde el punto de vista tectónico, todo el sector muestra una zona con buzamientos de los estratos en la dirección Oeste – Este. Se observan abanicos aluviales de buena magnitud. Los procesos tectónicos y la posterior erosión han dado lugar a una topografía muy variada y muy característica. (MMAyA, 2018)

La cuenca de Yesera se caracteriza por presentar un paisaje típicamente de valle seco, con elevaciones que no sobrepasan los 3.000 msnm, por lo que, las serranías circundantes son levemente suaves.

No es posible efectuar un análisis completo de los procesos geomórficos hipogénicos del área, ya que la acción de los agentes geomorfológicos no fue tan intensa, advirtiéndose muy poca erosión por el comportamiento mismo de los estratos rocosos aflorantes en el sector. (MMAyA, 2018).

En base a la precipitación y temperatura media anuales correspondientes al lugar, y de acuerdo a Luis Poitier, la influencia de los procesos geomorfológicos epigenéticos se distribuye de la siguiente manera:

- Meteorización química nada perceptible
- Meteorización mecánica ninguna
- Remoción en masa ninguna
- Erosión pluvial moderada
- Erosión eólica moderada

En cuanto a los depósitos que se advierten presentes en el área, podemos indicar a las morrenas laterales, depósitos coluviales, fluvio-lacustres, terrazas y depósitos glaciales.

Sistema cuaternario, estos depósitos son comunes tanto en las laderas como en el lecho de los ríos y quebradas. (MMAyA, 2018)

Los depósitos fluviales están representados en la zona, por sedimentos turbosos, arcillas orgánicas de mediana a alta plasticidad, limos y arenas muy finas.

Los sedimentos aluviales están representados por gravas, arenas y limos ubicándose a lo largo de los cauces y quebradas.

#### **3.4.8 Fisiografía**

Desde el punto de vista fisiográfico, los dos valles, que son muy estrechos, tienen varios, aunque reducidos sectores planos. En general, en las laderas que circundan las partes planas, se tienen pendientes abruptas. En el fondo del valle del río Yesera se

presentan sitios con pendientes suaves. En las partes altas las pendientes son fuertes y, por ello, el problema de la erosión y el arrastre de sedimentos es alto. (MMAyA, 2018).

### **3.4.9 Suelos y uso de la tierra**

Los suelos del área de influencia, están caracterizados en unidades fisiográficas bien definidas, el material parental de los suelos, en su mayoría es procedente de rocas del periodo Tríasico y Cretásico, encontrándose en su litología formada por areniscas, lutitas y limonitas. (MMAyA, 2018).

Las características físicas de los suelos van variando de acuerdo a la posición fisiográfica en que se encuentren, pero de manera general se puede decir que los suelos ubicados en los complejos montañosos son poco profundos, generalmente tiene un contacto lítico próximo y se evidencia presencia de afloramientos rocosos, siendo su textura de pesada mediana. Los suelos ubicados en la zona de pie de monte y terrazas aluviales son moderadamente profundos, particularmente en las terrazas sobresalientes.

Los tipos de suelos se encuentran en asociaciones, que son unidades de mapeo que contienen dos o tres suelos con proporciones similares, asociados geográficamente y que por razones prácticas de representación cartográfica se los agrupa los mismos que se detallan a continuación. (MMAyA, 2018).

En cuanto al uso de la tierra, las partes bajas de la Cuenca en los terrenos cuaternarios se encuentran sometidas a cultivos agrícolas en tres modalidades:

- A riego, con dotación hídrica insuficiente durante parte del año, siendo los principales cultivos el maíz, la papa, arveja, trigo, maní, tomate, cebolla y frutales.
- Medio riego, que no alcanza a dotar de agua al cultivo más que en época húmeda sin llegar a cubrir la estación seca.
- Secano que, en las partes bajas, con cultivos de maíz, papa, arveja y trigo, especialmente.

La agricultura asentada en los suelos cuaternarios de la sub cuenca normalmente no presenta problemas erosivos cuando se realiza en terrenos con pendientes inferiores al 2%, aun cuando su vecindad a los cauces la somete a inundaciones y daños por erosión lateral causados por la irregularidad y torrencialidad del régimen hidrológico existe en la zona, que necesitan de defensivos en sus márgenes y en general de una mejora de este régimen de las descargas que se presenta en muchos casos como una necesidad urgente. (MMAyA, 2018).

En las laderas y terrenos comunales se práctica el pastoreo libre o pastoreo extensivo de ganado vacuno, ovino y caprino, sin que existan cercados y control por rotación de la superficie pastada.

### 3.4.10 Cobertura vegetal

La vegetación natural tiene múltiples relaciones con los componentes bióticos y abióticos del medio como protector del suelo, estabilizador de pendientes regulador de la cantidad de agua en la cuenca, habitat de la fauna silvestre; expresión de la fauna silvestre, expresión de las condiciones locales ambientales y estabilidad ecológica y calidad general del ecosistema. De esta manera en la planificación espacial del uso de la tierra y la conservación de la biodiversidad. En la zona se refleja vegetación. (MMAyA, 2018).

#### -Identificación y descripción de especies gramíneas

Un detalle de la identificación y descripción de especies gramíneas (MMAyA, 2018), se muestra en el siguiente cuadro:

**Tabla 2. Especies Gramíneas**

Nombre común	Nombre científico
Gramma de Rhodes	<i>Chloris gayana</i>
Pata de perdiz	<i>Cynodon dactylon</i>
Pasto miel	<i>Paspalum dilatatum</i>
Pasto horqueta	<i>Paspalum notatum</i>

**Fuente:** (MMAyA, 2018)



### **-Tipo, cobertura y manejo de la vegetación**

La cobertura vegetal es poco densa. Varía desde la paja, pastos y musgo que se encuentran en las partes altas de la cuenca y entre las cotas 2.700 y 3.000, hasta superficies ampliamente expuestas en que se tienen generalmente árboles aislados de “churquis” (algarrobo). La vegetación corresponde a un clima o piso ecológico de Tierras Altas, con variaciones de los pisos ecológicos que llegan en la parte media hasta el bosque espinoso montano bajo subtropical (BEmb-st). Localmente, especialmente a lo largo de los cauces, se tienen pequeñas áreas antropizadas con eucaliptos, molles y sauces. La agricultura bajo riego complementario alcanza a superficies restringidas por la topografía, siempre concentradas alrededor de los cursos de agua. Por lo tanto, la mayor parte de los suelos no cuenta con riego y hay varios terrenos que requieren de rehabilitación. Además, un fuerte porcentaje de las tierras sin posibilidades de riego, no tiene posibilidad de aprovechamiento agrícola por las abruptas pendientes, la aridez y el suelo muy pedregoso. (MMAyA, 2018).

### **-Estado de Degradación Según Tipos de Vegetación**

Otra de las causas es el sobre pastoreo, debido a la actividad pecuaria sin manejo adecuado, en conjunto con la extracción selectiva de las especies vegetales nativas, es posiblemente, el factor causante de la degradación, El pastoreo prácticamente continuo en todas las áreas de pastoreo comunal, al igual que el aprovechamiento por parte del ganado de casi todos los rastrojos, rebrotes y malezas en parcelas de cultivo, eliminan la cobertura vegetal hasta tal punto que durante extensos periodos de tiempo el suelo queda descubierto y por lo tanto susceptible a la erosión hídrica y eólica. (MMAyA, 2018).

### **-Composición Florística**

La cobertura vegetal que domina es Vegetación herbácea graminoide baja con sinusia arbustiva submontano. (MMAyA, 2018).

**Tabla 3. Cobertura vegetal**

Nombre Común	Nombre Científico
<b>Pastos Naturales</b>	
Gramma de rhodes	<i>Chloris gayana</i>
Pata de perdiz	<i>Cynodon dactylon</i>
Pasto miel	<i>Paspalum dilatatum</i>
Pasto horqueta	<i>Paspalum notatum</i>
<b>Principales Cultivos Tradicionales</b>	
Maíz	<i>Zea mays</i>
Trigo	<i>Triticum vulgare</i>
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>
Arveja	<i>Pisum sativum</i>
<b>Cultivos Frutícolas</b>	
Duraznero	<i>Prunus persica</i>
Vid	<i>Vitis vinifera</i>

**Fuente:** (MMAyA, 2018)

**-Recursos forestales**

(MMAyA, 2018) Un detalle de las especies forestales se muestra en el siguiente cuadro:

**Tabla 4. Especies forestales**

Nombre Común	Nombre Científico
Churqui	<i>Acacia caven</i>
Algarrobo blanco	<i>Prosopis alba</i>
Algarrobo negro	<i>Prosopis nigra</i>
Molle	<i>Schinus molle</i>
Jarca	<i>Acacia visco</i>
Chañar	<i>Geofraea decorticans</i>
Aliso	<i>Alnus sp.</i>
Chilca	<i>Bacharis sp.</i>
Tusca	<i>Acacia Aroma</i>
Tola	<i>Paratrephia lepidophylla</i>

**Fuente:** (MMAyA, 2018)

### -Uso de las especies identificadas

El uso generalmente de las especies es de tipo familiar y/o comunal, principalmente la leña como combustible y también para la construcción de sus viviendas y como hacia también para sus cerramientos de sus parcelas agrícolas, asimismo para el alimento del ganado. (MMAyA, 2018).

**Tabla 5. Especies consideradas con influencia positiva por los pobladores de la cuenca**

Características	Especies vegetales
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sombra para el ganado</li><li>• Protección al suelo</li><li>• Mejora el clima.</li><li>• Ayuda a la vida silvestre</li><li>• Aporte de materia orgánica</li></ul>	Algarrobo, churqui, molle, tarco, Grama de Rhodes, Pata de perdiz.

**Fuente:** (MMAyA, 2018).

### 3.4.11 Fauna

Según informaciones de los pobladores se pueden observar diferentes especies de vertebrados que cumplen las funciones de equilibrio del ecosistema natural. (MMAyA, 2018). Se encuentran como las especies más importantes y predominantes se tienen las siguientes:

**Tabla 6. Fauna**

Nombre Común	Nombre Científico
Comadreja	<i>Mistela nivalis</i>
Murciélago	<i>Desmodontina pipistrellus</i>
Zorrino	<i>Mephitidae</i>
León (puma americano)	<i>Puma concolor</i>
Liebre	<i>Lepus europaeus</i>
Uron	<i>Mustela putorius furo</i>
Zorro	<i>Vulpes vulpes</i>
Patos de las torrenteras	<i>Merganetta armata</i>
Víbora	<i>Viperinae</i>
Pájaros – palomas	
Tarasquis	
Bientefue	

**Fuente:** (MMAyA, 2018).

### **3.4.12 Demografía**

La población total de las seis comunidades de interés de acuerdo al Censo Nacional de Población y Vivienda 2012 realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), alcanza a 1.594 habitantes que corresponden a 398 familias con una media de 4 y 5 miembros por familia. (MMAyA, 2018)

**Fuente:** (Los datos obtenidos en este capítulo fueron sacados del proyecto “*Desarrollo De Capacidades Locales Y Académicas En GIRH-MIC E Investigación, Acción En La Cuenca Pedagógica Yesera Municipio De Cercado -Tarija*” Tarija, Bolivia 2018”, desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua junto a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho).

## **CAPÍTULO IV**

### **IV. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

Para realizar el presente trabajo se utilizarán los siguientes materiales:

- Computadora
- Wordclim 2-0.
- ArcGIS 10-3.
- Cartas topográficas escala 1.100000.
- Cámara fotográfica digital.
- Material de escritorio.
- Calculadora.
- Datos climáticos de la cuenca.

#### **4.1 METODOLOGÍA**

Para seleccionar una metodología se toma en cuenta algunas características importantes de los métodos: si da una versión global, si es selectivo, mutuamente excluyente, si considera la incertidumbre, si es un objetivo interactivo.

En este caso se determinará los diferentes procedimientos lo cual son: La fase de gabinete.

Entre las varias metodologías generales existentes podremos seleccionar en función a lo que representa un amplio rango de opciones que corresponde a la fase de gabinete lo cual se procede a continuación.

#### **-Fase de Gabinete**

##### **-Para determinar el balance hídrico actual:**

- a) Definir área de estudio: crear polígono.
- b) Descarga de datos del programa Wordclim 2-0
- c) Armado de mapas tanto de temperatura máxima, media, mínima y precipitación para determinar valores en diferentes meses.

- d) Interpolación para determinar la radiación extraterrestre para determinar el mapa en ArcGIS.
- e) Mediante ArcGIS se calcula la radiación para cada mes.
- f) Describir variables de evapotranspiración potencial mediante el proceso de Hargreaves.
- g) Determinación del balance hídrico actual mediante el procedimiento de la fórmula de evapotranspiración potencial ya mencionado.
- h) Determinación de distribución estadística y clases de riesgo.

**-Para determinar los modelos o escenarios de balance hídrico de acuerdo al incremento de temperatura y aumento y disminución de la precipitación.**

- a) Determinación del modelo optimista de acuerdo a los datos obtenidos tomando como consecuencia el cambio climático.
- b) Determinación del modelo pesimista de acuerdo a los datos obtenidos tomando como consecuencia el cambio climático.

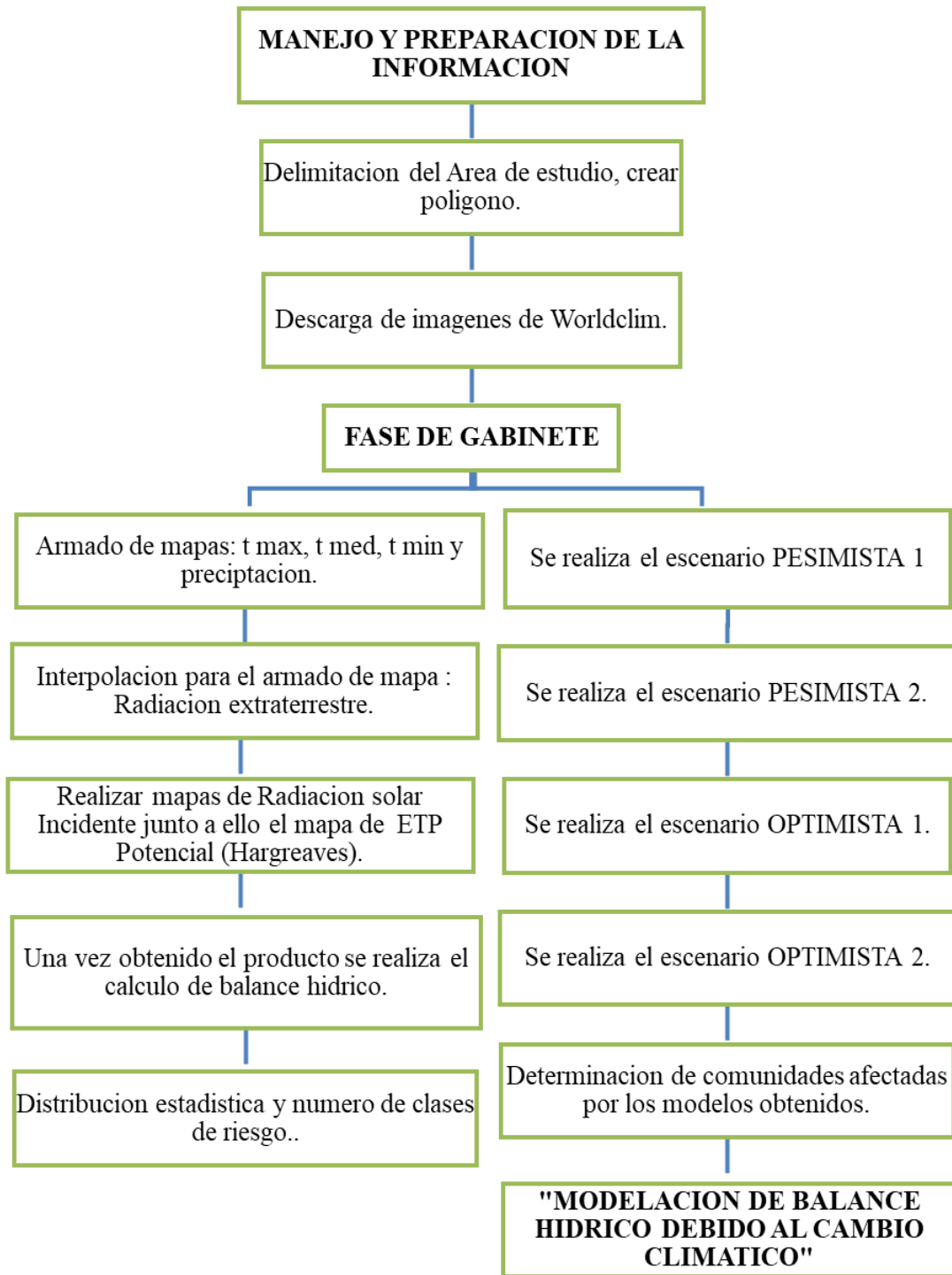
**-Para determinar las comunidades que serán afectadas mediante estos modelos obtenidos.**

- a) Identificación de comunidades afectadas mediante uso de cartografía y los modelos obtenidos.

#### **4.1.1 Fase de trabajo**

La fase de trabajo de las mismas se realizará mediante el siguiente organigrama establecido:

**Figura 1. Organigrama del trabajo establecido.**



**Fuente: Elaboración Propia.**

#### **4.1.2 Operabilización de las variables**

Es necesario definir una variable. Una variable es una propiedad que puede variar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse.

En este trabajo las variables serán: evapotranspiración potencial y el balance hídrico.

##### **-Descomprimir archivos descargados.**

Se realiza el descomprimido de los archivos descargados de Worldclim para ser accedida y modificar cada uno de los parámetros lo cual son: la precipitación, temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima las mismas están en el apartado de anexos (ver anexo cuadro 1).

##### **-WorldClim.**

Esta plataforma aporta más de 19 variables bioclimáticas, pero en el caso de este trabajo solo se necesitarán 4 variables derivadas con capas climáticas disponibles para las condiciones actuales (1950-2000), las proyecciones futuras, y las condiciones del pasado en función de modelos climatológicos. Ejemplo: último interglaciar, último máximo glacial, y Holoceno Medio. (Fick & Hijmans, 2017).

Los datos de las variables se encuentran en el apartado de anexos.

Las estaciones meteorológicas usadas tienen aprox. un arco resolución de 1 km, se puede descargar las variables para diferentes resoluciones espaciales, desde 30 segundos (~ 1 km<sup>2</sup>).

Las variables incluidas son la precipitación total mensual, media mensual, temperatura mínima y máxima, y 19 más variables bioclimáticas.

Las capas climáticas WorldClim interpoladas se hacen usando: (entre otros, bases de datos climáticos históricos).



## -Calculadora ráster “Raster Calculator”.

Según el programa ArcGIS. Crea y ejecuta una sola expresión de Álgebra de mapas utilizando la sintaxis de Python en una interfaz similar a una calculadora.

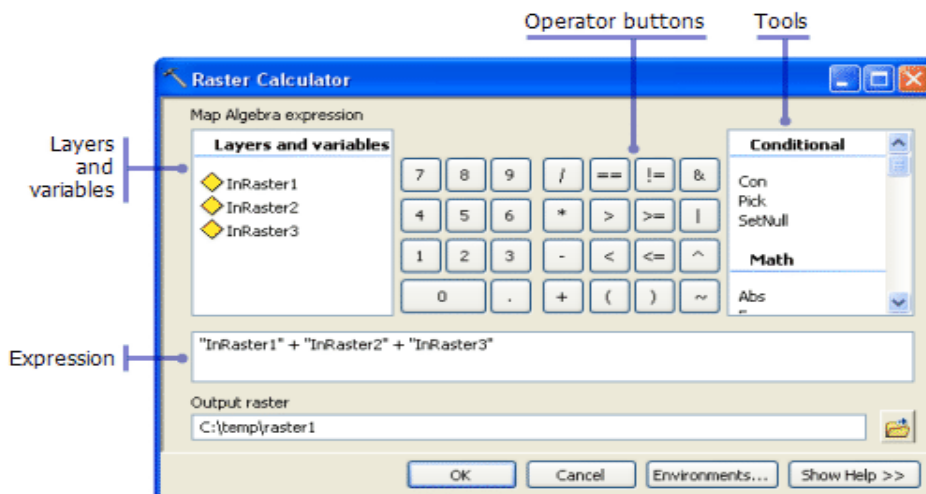
La herramienta Calculadora ráster le permite crear y ejecutar una expresión de Álgebra de mapas que generará un ráster.

Use la lista de Capas y variables para seleccionar los conjuntos de datos y las variables que se usarán en la expresión. Se pueden agregar valores numéricos y operadores matemáticos a la expresión haciendo clic en los botones respectivos en el cuadro de diálogo de la herramienta. Se proporciona una lista de herramientas matemáticas y condicionales comúnmente utilizadas, que le permite agregarlas fácilmente a la expresión.

Las rutas completas a los datos o los datos existentes en la configuración del entorno del espacio de trabajo actual especificada se pueden ingresar entre comillas (""). Los números y escalares se pueden ingresar directamente en una expresión.

### Ilustración:

**Figura 2. Ejemplo De Raster Calculator**



*Raster Calculator tool dialog box example*

### **-Evapotranspiración de referencia de Hargreaves.**

El método de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), utiliza parámetros térmicos y radiación solar, que estima a partir de la radiación solar extraterrestre (datos disponibles en cualquier observatorio termométrico). El método presenta la ventaja de que se puede aplicar en cualquier observatorio con datos de temperatura y que el método da resultados muy correlacionados con los obtenidos con el método de Penman.

La fórmula para determinar la evapotranspiración potencial es:

$$ETP = \Sigma^{12} * 0,0135 * (Tmed + 17,78) * Rs$$

**ETP:** Evapotranspiración potencial expresada en mm/día.

**Rs:** Radiación solar incidente expresada en equivalente de agua (mm/día).

**Tmed:** Temperatura media del aire (°C).

La fórmula para determinar la radiación incidente es:

$$Rs = Ro * 0,408 * Kt * (Tmax - Tmin)^{0,5}$$

**Ro:** Radiación solar extra Terrestre (Sale De Tabla).

**Kt:** 0,162 para zonas no costeras.

**Tmax:** Temperatura máxima expresada en (°C).

**Tmin:** Temperatura mínima expresada en (°C)

### **-Determinación del balance hídrico:**

Para determinar el balance hídrico, una vez tomado los datos de la evapotranspiración potencial mediante el método de Hargreaves se toma en cuenta la precipitación de cada mes desde enero a diciembre.

La fórmula para determinar el balance hídrico es:

$$BH = (P1 - ETP1) + (P2 - ETP2) + \dots + (P12 - ETP12)$$

**BH:** Balance Hídrico

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

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

### 4.1.3 Procedimiento.

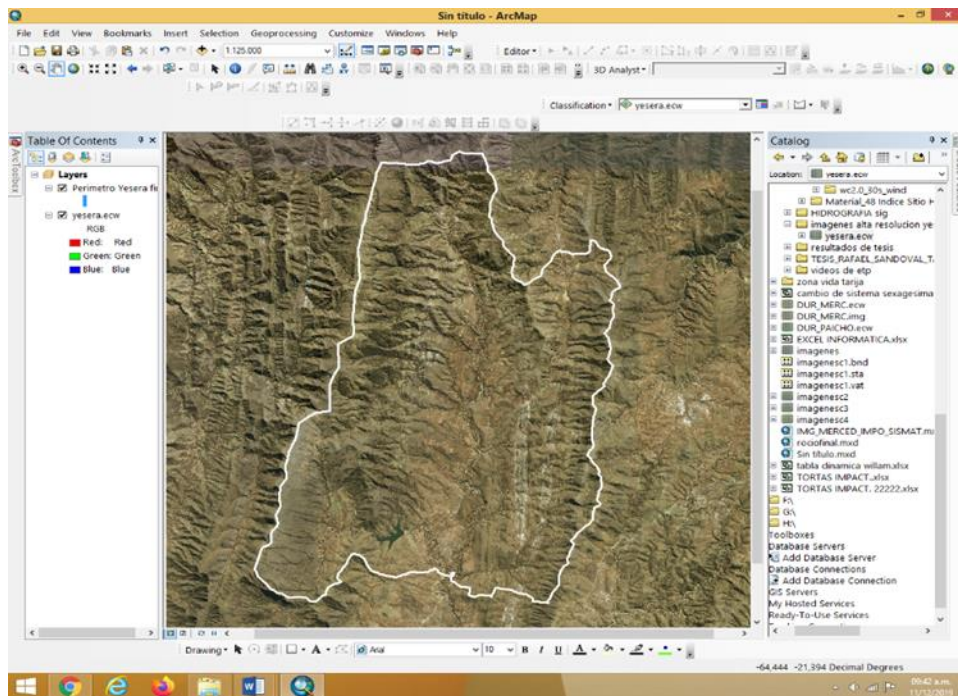
El procedimiento para el siguiente trabajo consiste los pasos definidos anteriormente:

**-Para determinar el balance hídrico actual:**

a) **Definir área de estudio: crear polígono**

Para definir el área de estudio es necesario crear un polígono del área de estudio para apreciar mejor la zona o cuenca en estudio y definir ciertas características climáticas mediante el programa ArcGIS y apreciarlo lo mejor posible. Se toma en cuenta la digitalización mediante una imagen satelital de la cuenca.

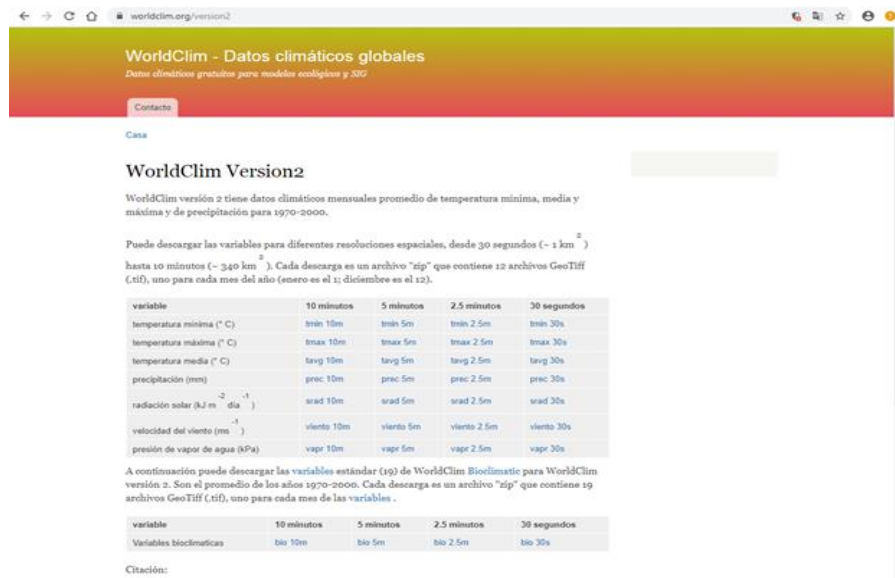
**Figura 3. Crear Polígono.**



**b) Descarga de datos del programa Wordclim 2-0**

La descarga de datos climáticos para este caso es importante ya que estos datos nos ayudarán a encontrar nuestras variables mencionadas anteriormente, de esta manera se descarga los parámetros de temperatura máxima, media, mínima. Estos datos se obtienen mediante la página web (<https://worldclim.org/version2>).

**Figura 4. Descarga de datos del WorldClim.**



**Fuente:** <https://worldclim.org/version2>

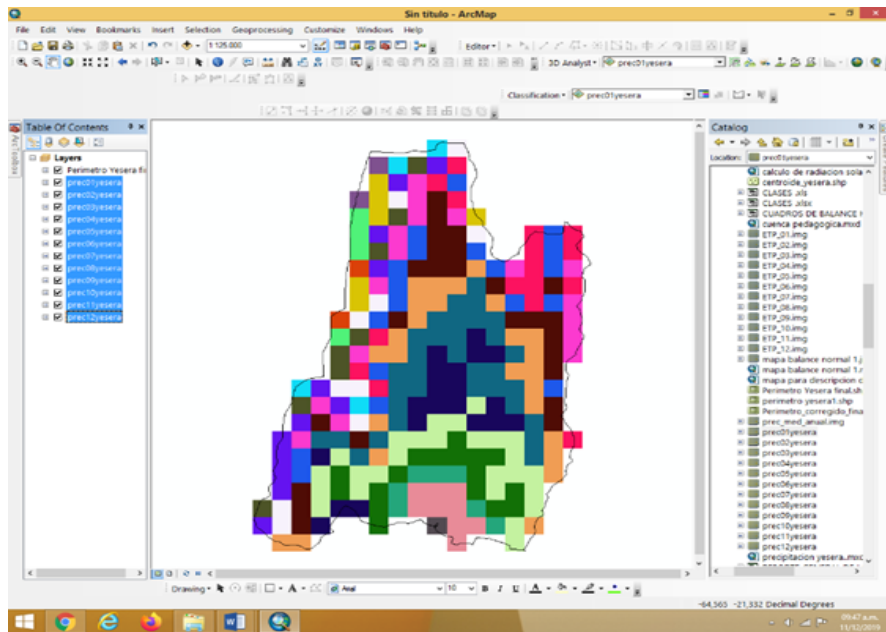
**c) Armado de mapas tanto de temperatura media máxima, temperatura media mínima y precipitación para determinar valores en diferentes meses.**

Una vez obtenidos los datos de worldclim 2-0 se toma en cuenta las variables para tener los datos correspondientes de cada parámetro en este caso se toma la precipitación, temperatura media mínima y la temperatura media máxima lo cual se realiza el corte de cada mapa y de cada mes para el polígono en este caso de la cuenca pedagógica de Yesera y así ir obteniendo datos para el cálculo de la evapotranspiración de Hargreaves y

sucesivamente el cálculo de balance hídrico de cada mes para determinar si existe déficit de agua e incremento de la misma en el balance hídrico.

Los datos de la precipitación, temperatura media mínima y la temperatura media máxima que se obtienen para el cálculo de evapotranspiración se encuentran en el apartado de anexos, (ver anexo cuadro 1).

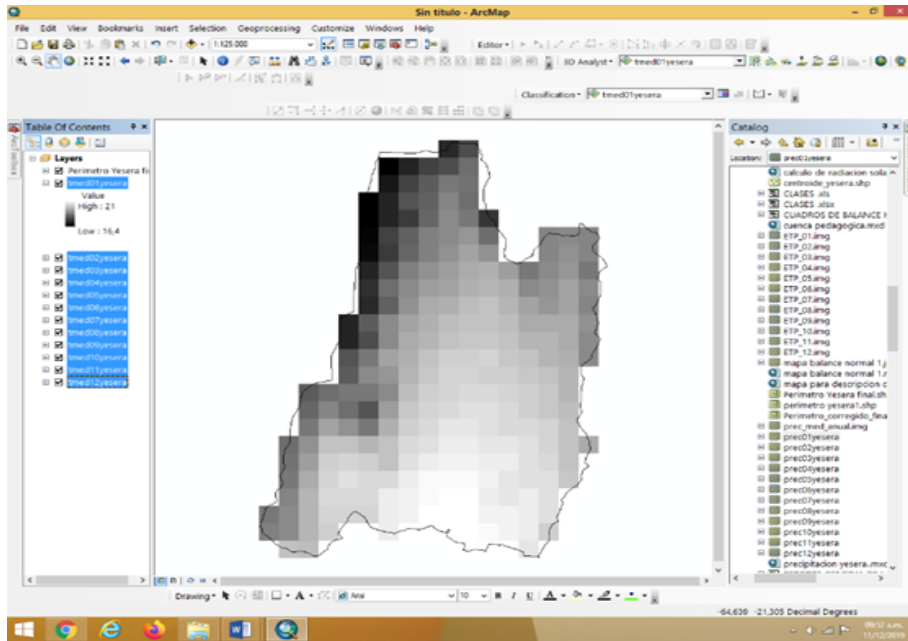
**Figura 5. Parámetro de precipitación.**



En el parámetro de precipitación los datos que se muestran se presentan en la siguiente tabla:

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
119,2	117,33	91,78	36,71	9,74	5,49	2,54	5,09	11,83	34,07	63,09	119,22

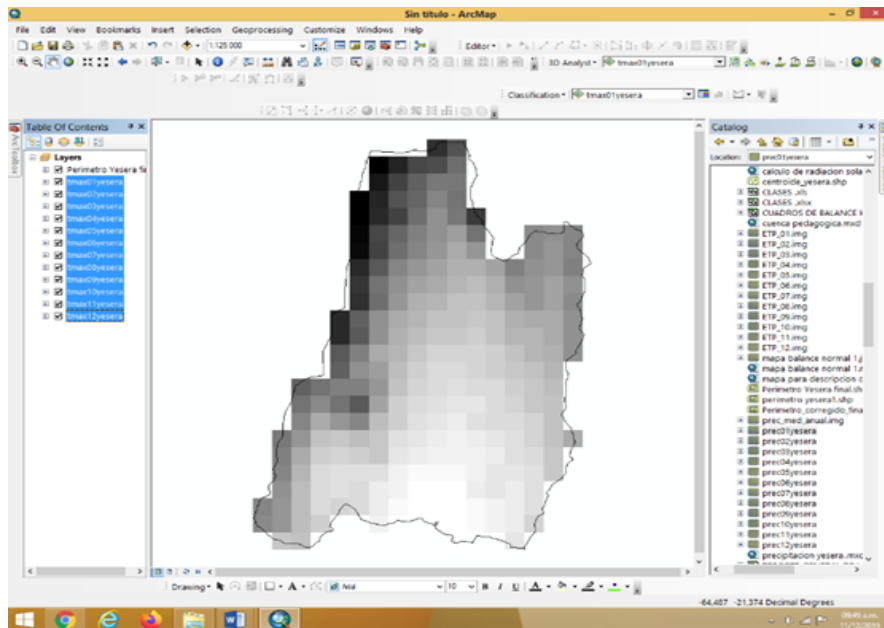
**Figura 6. Parámetro Temperatura Máxima.**



En esta imagen nos muestra los diferentes temperaturas máximas y sus datos de la misma serán mostrados en la siguiente tabla:

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
26,85	26,13	25,74	24,02	21,74	19,90	19,67	21,76	23,56	25,84	26,46	26,78

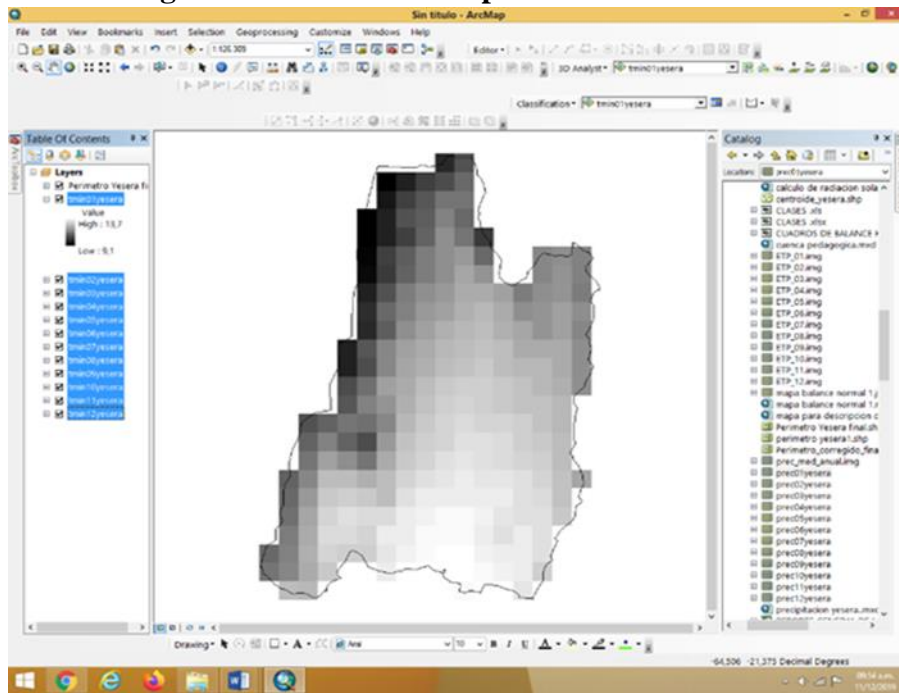
**Figura 7. Parámetro Temperatura Media.**



En esta imagen nos muestra las diferentes temperaturas medias que serán mostrados en la siguiente tabla:

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
19,48	18,76	18,37	16,65	14,37	12,53	12,49	14,59	16,39	18,67	19,29	19,60

**Figura 8. Parámetro Temperatura Mínima.**



En esta imagen nos muestran las diferentes temperaturas mínimas y sus valores serán mostrados en la siguiente tabla:

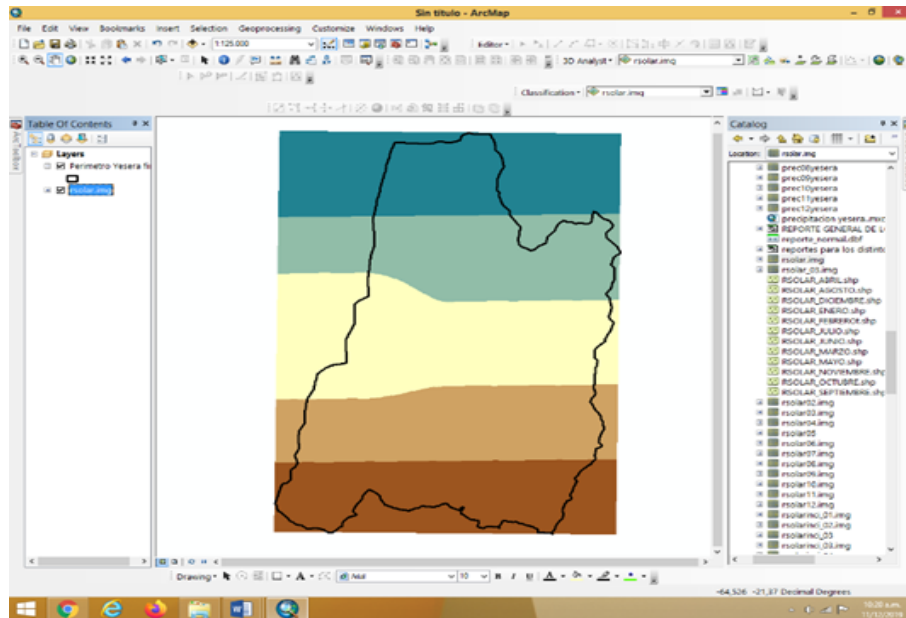
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
12,12	11,39	11,00	9,28	7,00	5,17	5,32	7,42	9,22	11,50	12,12	12,43

**d) Interpolación para determinar la radiación extraterrestre**

Este proceso es importante para realizar el procedimiento de Hargreaves lo cual consiste en interpolar diferentes datos obtenidos en una tabla que se mencionará la radiación extraterrestre de acuerdo al hemisferio correspondiente, la cuenca pedagógica está ubicada en el hemisferio sur así que se toman datos del hemisferio sur y para este caso se convierte la latitud que está en grados minutos y segundos a grados centígrados para llevarlo a tabla que te pide en grados centígrados y luego se realiza la interpolación

de datos mediante el uso de la regla de 3 compuesta. Esto se pone en ArcGIS para determinar los mapas de radiación extraterrestre lo cual los datos están en el apartado de anexos (ver anexo cuadro 2).

**Figura 9. Determinación de Radiación Solar Extraterrestre.**

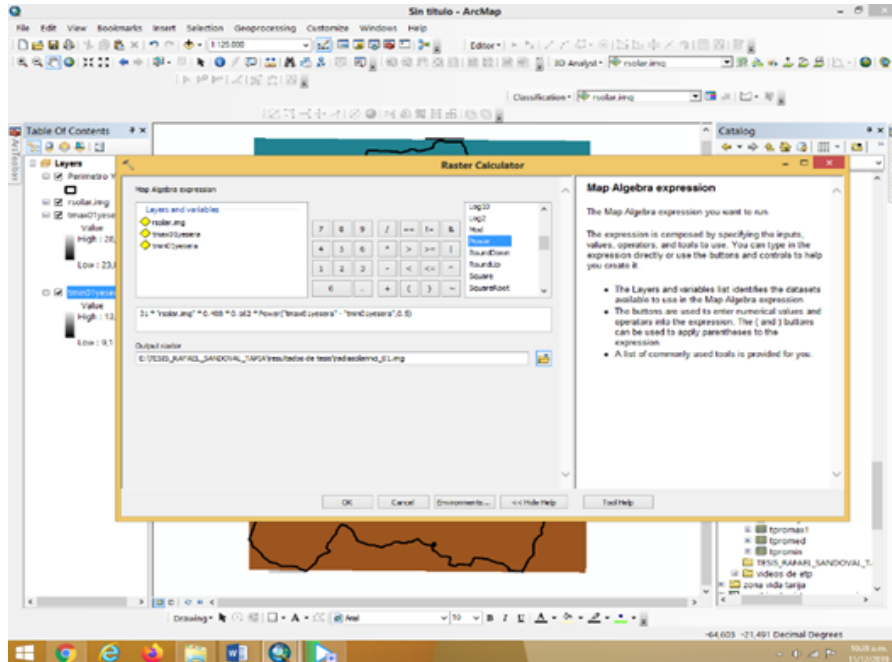


e) **Mediante ArcGIS se calcula la radiación para cada mes**

Una vez tomados los datos de la radiación solar extraterrestre se determinará mediante este programa la radiación solar respectiva de enero a diciembre para ir tomando este factor que es importante para determinar la evapotranspiración potencial para el realizado del mapa actual lo cual los datos estarán en el apartado de anexos (ver anexo cuadro 2).



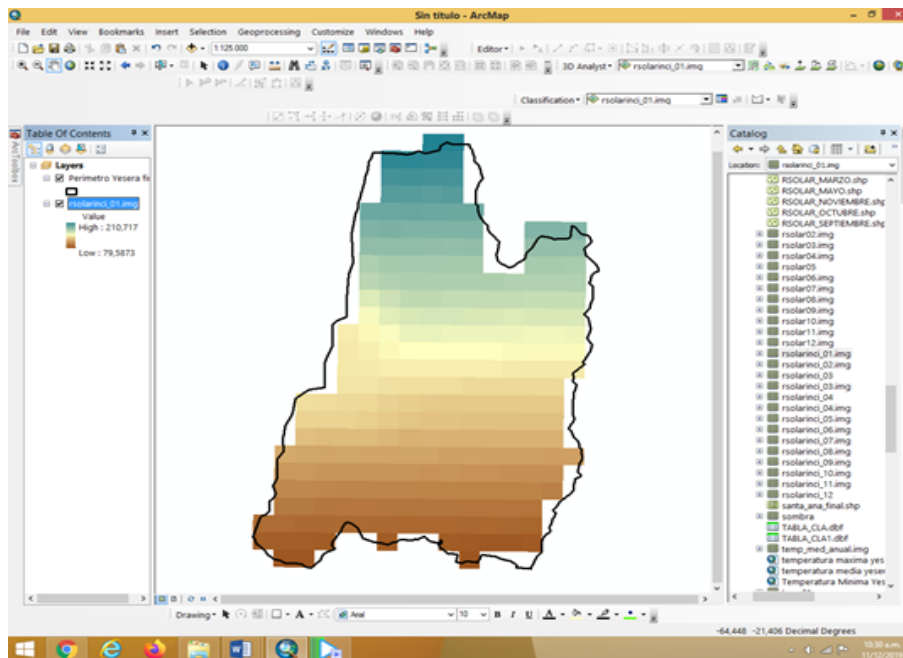
Figura 10. Cálculo de la radiación solar incidente.



$$“R_s = R_o * 0,408 * K_t * (T_{max} - T_{min})^{0,5}”$$

Esta fórmula se coloca en el ArcGIS para determinar la radiación solar incidente.

Figura 11. Obtención de la Radiación solar Incidente.

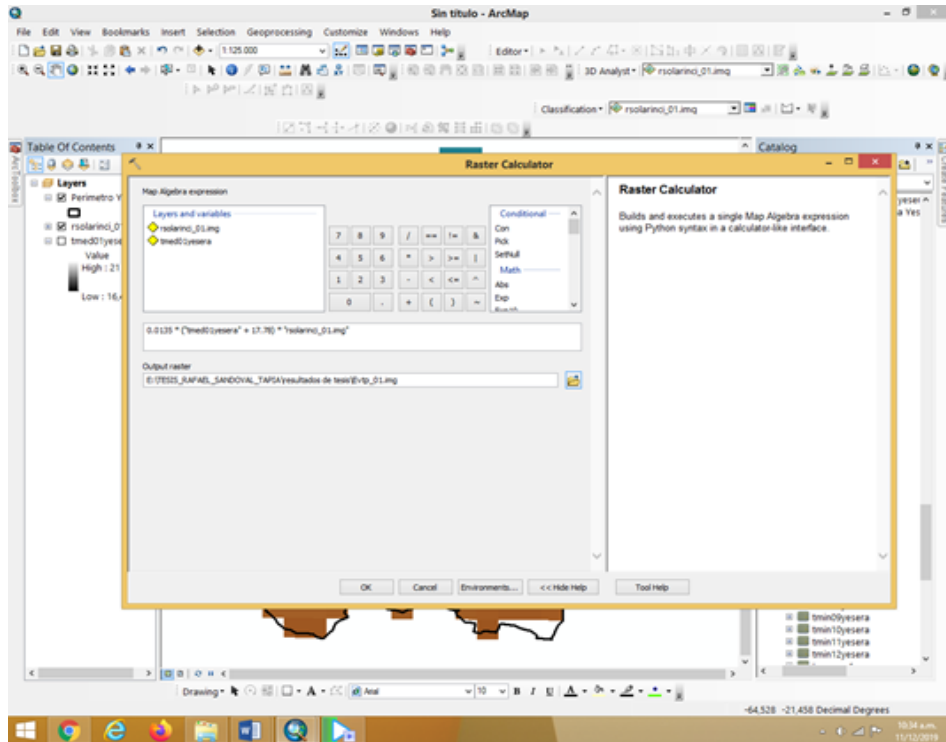


f) **Describir variables de evapotranspiración potencial mediante el proceso de Hargreaves**

Para este caso se tomará la fórmula de Hargreaves para determinar la evapotranspiración potencial lo cual al obtener la radiación solar se realiza el procedimiento de cálculo de la misma, pero tomando en cuenta los días que tiene cada mes, los datos se muestran en la tabla siguiente.

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Rs (mm/día)	134,73	116,01	116,65	95,82	82,98	72,45	76,98	89,93	104,08	122,066	125,61	133,94

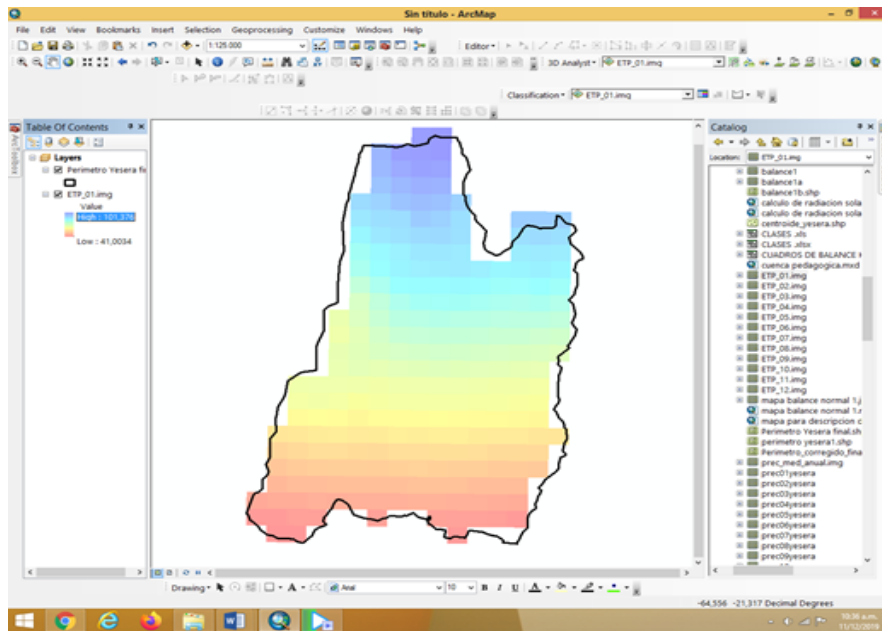
**Figura 12. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial**



$$ETP = \sum I^2 * 0,0135 * (Tmed + 17,78) * Rs$$

En esta parte se coloca la fórmula en ArcGIS para determinar la evapotranspiración.

**Figura 13. Obtención de la Evapotranspiración Potencial.**



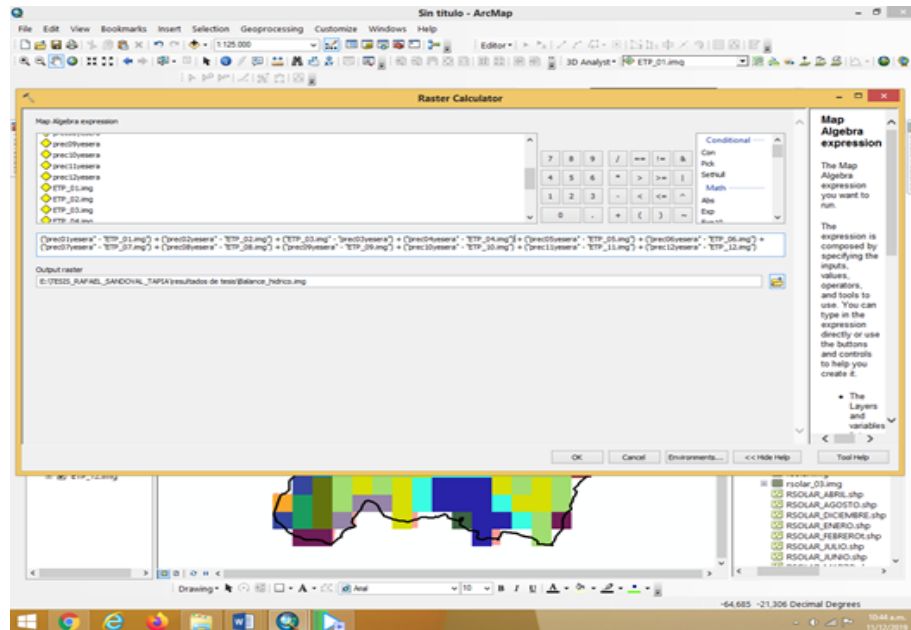
**g) Determinación del balance hídrico actual mediante el procedimiento de la fórmula de evapotranspiración potencial ya mencionado**

Como se dijo anteriormente una vez tomado los resultados de la evapotranspiración potencial se determinará el balance hídrico actual de la cuenca mediante la fórmula que se propuso en la operación de las variables lo cual se introduce en el ráster calculator se obtendrá los mapas de la evapotranspiración potencial y los datos que se muestran en la siguiente tabla:

**Datos de la evapotranspiración potencial.**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
67,77	57,22	56,92	44,54	36,02	29,65	31,46	39,30	48,01	60,06	62,86	67,59

**Figura 14. Cálculo del balance hídrico Actual.**



$$"BH = (P1 - ETP1) + (P2 - ETP2) + \dots + (P12 - ETP12)"$$

Los resultados o el producto que se obtenga de esta metodología será el mapa de balance hídrico actual de la cuenca.

**h) Determinación de distribución estadística y clases de riesgo**

Al obtener los datos del balance hídrico actual lo cual estarán en el apartado de anexos (ver anexo cuadro 2), se determina la distribución estadística mediante Herbert Sturges (1926), para determinar las clases de riesgo que se encuentran en la cuenca mediante la fórmula siguiente:

$$C = 1 + \log M$$

**C:** Número de clases.  
**M:** Tamaño de la muestra.

**-Fase de verificación**

En esta fase se realiza una verificación en campo para determinar qué factores son los que determinan dichos balances obtenidos en la misma para el por qué sucede en la cuenca.

**-Para determinar los modelos o escenarios de balance hídrico de acuerdo al incremento de temperatura y aumento de la precipitación**

**a) Determinación del modelo optimista de acuerdo a los datos obtenidos tomando como consecuencia el cambio climático**

Para este caso una vez sacado el balance hídrico actual de la cuenca de yesera se realizarán los modelos de balance hídrico como para este caso serán modelos optimistas ya que estos representan el aumento de la precipitación en dos formas:

- Precipitación al 25%
- Precipitación al 50%

Otra variable importante para este caso es la temperatura que como se mencionó el cambio climático será un factor importante los cual como consecuencia del mismo se aumentará un grado centígrado para sacar diferentes resultados.

**b) Determinación del modelo pesimista de acuerdo a los datos obtenidos tomando como consecuencia el cambio climático.**

En este caso realizaremos el modelo pesimista que consiste en que la precipitación como primer factor se disminuya de acuerdo a lo siguiente:

- Precipitación al -25%
- Precipitación al -50%

Respecto al segundo factor se tomará en cuenta los mismos datos de temperatura por ser que el cambio climático la temperatura subirá un grado centígrado para este caso y lo cual se mostrará en la siguiente tabla los distintos modelos de balance hídrico:

**Tabla 7. Escenarios de Balance Hídrico.**

MODELOS			
NIVEL	CLASE	PRECIPITACIÓN	TEMPERATURA
1	OPTIMISTA 2	+50%	+1 °C
2	OPTIMISTA 1	+25%	+1 °C
3	NORMAL (ACTUAL)	NORMAL	NORMAL
4	PESIMISTA 1	-25%	+1 °C
5	PESIMISTA 2	-50%	+1 °C

**Fuente: Elaboración Propia.**

Los resultados obtenidos o el producto para este método serán los 4 modelos obtenidos: 2 optimistas y 2 pesimistas e identificación de zonas con déficit de disponibilidad de agua lo cual los datos estarán en el apartado de anexos (ver anexo cuadro 3 al 10).

**-Para determinar las comunidades que serán afectadas mediante estos modelos obtenidos.**

**a) Identificación de comunidades afectadas mediante uso de cartografía y los modelos obtenidos.**

Una vez obtenido los modelos pesimistas y optimistas se determinará las comunidades que serán afectadas por estos modelos propuestos mediante el uso de cartografía mediante el uso de cartas topográficas hacer una sobre posición de los modelos identificados y así verificar que comunidades serán más afectadas ya sea por el déficit de disponibilidad de agua o lo contrario a la misma.

Los resultados obtenidos serán las diferentes comunidades afectadas a estos modelos obtenidos.

## CAPÍTULO V

### V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 BALANCE HÍDRICO ACTUAL

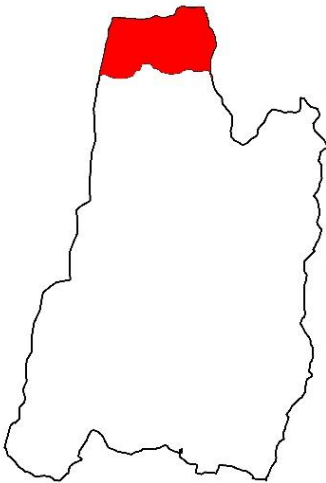
Para determinar los rangos de las clases de riesgo solo es la distribución estadística que en este caso lo tomaremos como clase de riesgo que se mencionó en la metodología mediante Herbert Sturges, lo cual es una distribución de datos que son obtenidos por la plataforma ArcGIS, lo cual mediante la fórmula se determinó los 4 rangos de clase de riesgo que se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 8. Clases de riesgo para el balance hídrico actual**

CLASES DE RIESGO SEGÚN HERBERT STURGES		
CLASES DE RIESGO	RANGO (1, 2, 3 y 4)	
Déficit Alto	-643,59	-316,35
Déficit Moderado	-316,35	10,89
Exceso Moderado	10,89	337,89
Exceso Alto	337,89	665,4

De acuerdo a esta distribución se procede a determinar las clases de riesgo en la cuenca pedagógica para ir describiendo cada una a continuación.

##### 5.1.1. Déficit Alto



Este tipo de clase se presenta en el extremo de la cuenca pedagógica se encuentra en el norte más que todo en la zona alta de la corresponde a las serranías altas y medias que comprende más que todo a parte de la comunidad de Yesera San Sebastián, con una altura de 2500 a 2800 msnm. Cuenta con una temperatura media anual de 18,18 °C, mientras que la precipitación media anual es 51,34 mm, la evapotranspiración potencial media anual es de 50,12 mm, lo cual la diferencia de estos (PP-ETP) tiene un exceso de 1, 22 mm. Esta clase representa con una superficie de 1302,46 ha. Lo cual representa el 6,16 % de la superficie total de la cuenca. los parámetros de dicho subtítulo se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Resumen del subtítulo “Déficit Alto”**

Deficit Alto.				Deficit Alto	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	2500 a 2800
ENE	19,48	119,2	67,77	SUPERFICIE (ha)	1302,46
FEB	18,76	117,33	57,22	PORCENTAJE (%)	6,16%
MAR	18,37	91,78	56,92	BALANCE MEDIO (mm)	-320
ABR	16,65	36,71	44,54		
MAY	14,37	9,74	36,02		
JUN	12,53	5,49	29,65		
JUL	12,49	2,54	31,46		
AGO	14,59	5,09	39,30		
SEP	16,39	11,83	48,01		
OCT	18,67	34,07	60,06		
NOV	19,29	63,09	62,86		
DIC	19,60	119,22	67,59		
Media Anual	18,18	51,34	50,12		
Exceso (PP - ETP)		1, 22 mm			

En este resumen se determina que el balance medio es (-320 mm) lo cual nos determina que hay un déficit alto en la parte alta de la cuenca, lo cual estos datos se determinaron mediante cálculo de “raster calculator” en arcGIS.

En esta clasificación podemos determinar que existe una alta pérdida de agua en la parte alta de la cuenca ya que se encuentra en el rango de clase de riesgo 1 (Déficit Alto) que es (-643,59 a -316,35) según Herbert Sturges, (1926), (ver tabla 8). Presenta un déficit alto lo cual hay una alta pérdida de agua en la zona alta.



En la fase de verificación se observa que en la parte alta de la cuenca la falta de vegetación lo cual provoca el escurrimiento de agua como también el clima que es frío semiárido, también se muestra distintas formas de agricultura y plantaciones (*Pinus radiata*) como también presencia arbustiva de Tola (*Paratrephia lepidophylla*), (ver anexo foto 2, 6 y 7).



### 5.1.2. Déficit Moderado



Esta clase se presenta en todas las zonas de la cuenca donde corresponde a las serranías altas, medias como también a las llanuras de pie de montes, llanura aluvial y colinas.

Las comunidades de la cuenca que afectarían serían Yesera San Sebastián, Chiguaypolla y Yesera Norte, con una altura promedio de 2300 a 2500 msnm. Cuenta con una temperatura media anual de 17,18 °C, mientras que la precipitación media anual es de 53 mm, la

evapotranspiración potencial media anual es de 50,12 mm, de acuerdo a la diferencia de estos (PP-ETP) generan un exceso de 3, 12 mm. Esta clase representa con una superficie de 8429,88 ha, lo cual representa el 40 % de la superficie total de la cuenca, los parámetros de dicho subtítulo se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 10. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”**

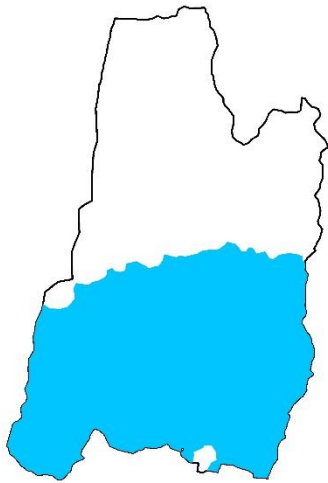
Deficit Moderado.				Deficit Moderado	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	
ENE	19,48	119,2	67,77		2300 a 2500
FEB	18,76	117,33	57,22		8429,88
MAR	18,37	91,78	56,92		40,00%
ABR	16,65	36,71	44,54		BALANCE MEDIO (mm)
MAY	14,37	9,74	36,02		-90
JUN	12,53	5,49	29,65		
JUL	12,49	2,54	31,46		
AGO	14,59	5,09	39,30		
SEP	16,39	11,83	48,01		
OCT	18,67	34,07	60,06		
NOV	19,29	63,09	62,86		
DIC	19,60	119,22	67,59		
Media Anual	17,18	53	50,12		
Exceso (PP - ETP)		3,12 mm.			

En este resumen se determina que el balance medio es (-90 mm) lo cual se determina un rango de clase de riesgo 2 (Déficit moderado) que es (-316,35 a 10,89), (ver tabla 8).



En la fase de verificación se pudo observar que la vegetación empieza a predominar en cantidades mínimas haciendo que el déficit sea de alto a moderado, donde se hace presente las presas y cultivos y la vegetación se va haciendo presente, (ver anexo foto 1, 4, 8 y 9).

### 5.1.3. Exceso Moderado



En este modelo se determina que se presenta en las 3 partes de la cuenca lo cual comprende serranías altas, media, llanura de piedemonte, aluvial y colinas bajas.

Las comunidades de la cuenca que comprende esta clase serían Yesera Centro, Yesera Sud y Caldera Grande, con una altura promedio entre 2100 a 2300 msnm. Cuenta con una temperatura media anual de 14,89 °C, mientras que la precipitación media anual es de 56 mm, la evapotranspiración potencial es de 50,12

mm, de acuerdo a la diferencia (PP-ETP) de estos generan un exceso de 6, 12 mm.

Esta clase representa con una superficie de 11307,66 ha. Lo cual representa el 53,51 % de la superficie total de la cuenca. dichos parámetros serán descritos en la siguiente tabla:

**Tabla 11. Resumen del subtítulo “Exceso Moderado”**

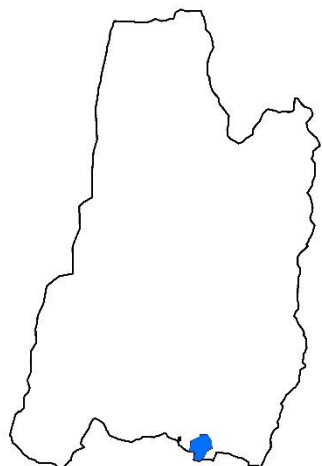
Exceso Moderado.				Exceso Moderado	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)	ETP(mm)		
ENE	19,48	119,2	67,77	ALTURA (msnm)	2100 a 2300
FEB	18,76	117,33	57,22	SUPERFICIE (ha)	11307,66
MAR	18,37	91,78	56,92	PORCENTAJE (%)	53,51%
ABR	16,65	36,71	44,54	BALANCE MEDIO (mm)	20
MAY	14,37	9,74	36,02		
JUN	12,53	5,49	29,65		
JUL	12,49	2,54	31,46		
AGO	14,59	5,09	39,30		
SEP	16,39	11,83	48,01		
OCT	18,67	34,07	60,06		
NOV	19,29	63,09	62,86		
DIC	19,60	119,22	67,59		
Media Anual	14,83	56	50,12		
Exceso (PP - ETP)		6,12 mm.			

En este resumen se determina que el balance medio es (20 mm) lo cual se determina un rango de clase de riesgo 3 (Exceso moderado) que es (10,89 a 337,89), según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 8), y esto se considera como un aporte bajo de agua desde la parte alta de la cuenca y sucesivamente va creciendo hacia la parte media y baja de la misma.



En la fase de verificación se observa que la vegetación empieza a predominar y que con ayuda de las construcciones de presas y atajados para riego el balance se determina como exceso moderado, (ver anexo foto 3, 5, 10, 11, 12).

#### 5.1.4. Exceso Alto.



En esta clase va partiendo en toda la parte sur como también corresponde a la parte baja de la cuenca y tiene un paisaje de colinas bajas.

Las comunidades que abarca esta clase comprenden una parte solamente de la comunidad de Yesera Sud, con una altura de 2100 a 2200 msnm, cuenta con una temperatura media anual de 13, 83 °C, mientras que la precipitación media anual es de 57 mm y una evapotranspiración potencial es de 50, 12 mm, de acuerdo a la diferencia de estos (PP-ETP) generan un exceso de 7, 12 mm, en esta clase se presenta con una superficie de 91, 59 ha, lo cual representa el 0,43 % de la superficie total de la cuenca, los siguientes parámetros serán descritos en la siguiente tabla:

**Tabla 12. Resumen del subtítulo “Exceso Alto”**

Exceso Alto.				Exceso Alto	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	2100 a 2200
ENE	19,48	119,2	67,77	SUPERFICIE (ha)	91,59
FEB	18,76	117,33	57,22	PORCENTAJE (%)	0,43%
MAR	18,37	91,78	56,92	BALANCE MEDIO (mm)	360
ABR	16,65	36,71	44,54		
MAY	14,37	9,74	36,02		
JUN	12,53	5,49	29,65		
JUL	12,49	2,54	31,46		
AGO	14,59	5,09	39,30		
SEP	16,39	11,83	48,01		
OCT	18,67	34,07	60,06		
NOV	19,29	63,09	62,86		
DIC	19,60	119,22	67,59		
Media Anual	13,83	57	50,12		
Exceso (PP - ETP)		7,12 mm.			

En este resumen se determina que el balance medio es (360 mm) lo cual se determina un rango de clase de riesgo 4 (Exceso Alto) que es (337,89 a 665,4) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 8).



En la parte de verificación se observa que en esta parte de la cuenca presenta un exceso alto de agua lo cual como se mencionó anteriormente existe vegetación que ayuda a la retención agua como también esta parte se encuentra el río principal de la cuenca de Yesera lo cual es una retensor de agua en la misma, (ver anexo foto 13).

#### **5.1.5. BALANCE POR MESES (Balance Hídrico Actual)**




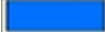
Se determinó en este balance que los meses aportantes de agua son: Noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, (ver anexo cuadro 1 y 2)

En donde los meses que obtienen un déficit son: Abril, mayo, junio, agosto, septiembre y octubre lo cual tiene una alta pérdida hídrica, (ver anexo gráfico 1)

#### **-Interpretación del mapa (Mapa 2) de balance hídrico actual**

Según el mapa y el cuadro que se presenta a continuación constituye que la parte alta de la cuenca se presenta la clase de riesgo 1 (déficit alto), lo cual se debe a la falta de vegetación que produce el escurrimiento. La clase de riesgo 2 (déficit moderado) se presenta en la parte media y se observa que la vegetación se hace presente junto a ella las presas de captación de agua. La clase de riesgo 3. La clase de riesgo 3 (exceso moderado) se presenta en la parte baja de la cuenca y se observa que ya existe

vegetación. La clase de riesgo 4 (exceso alto) esta en la parte baja donde se encuentra el río principal y hay abundante vegetación.

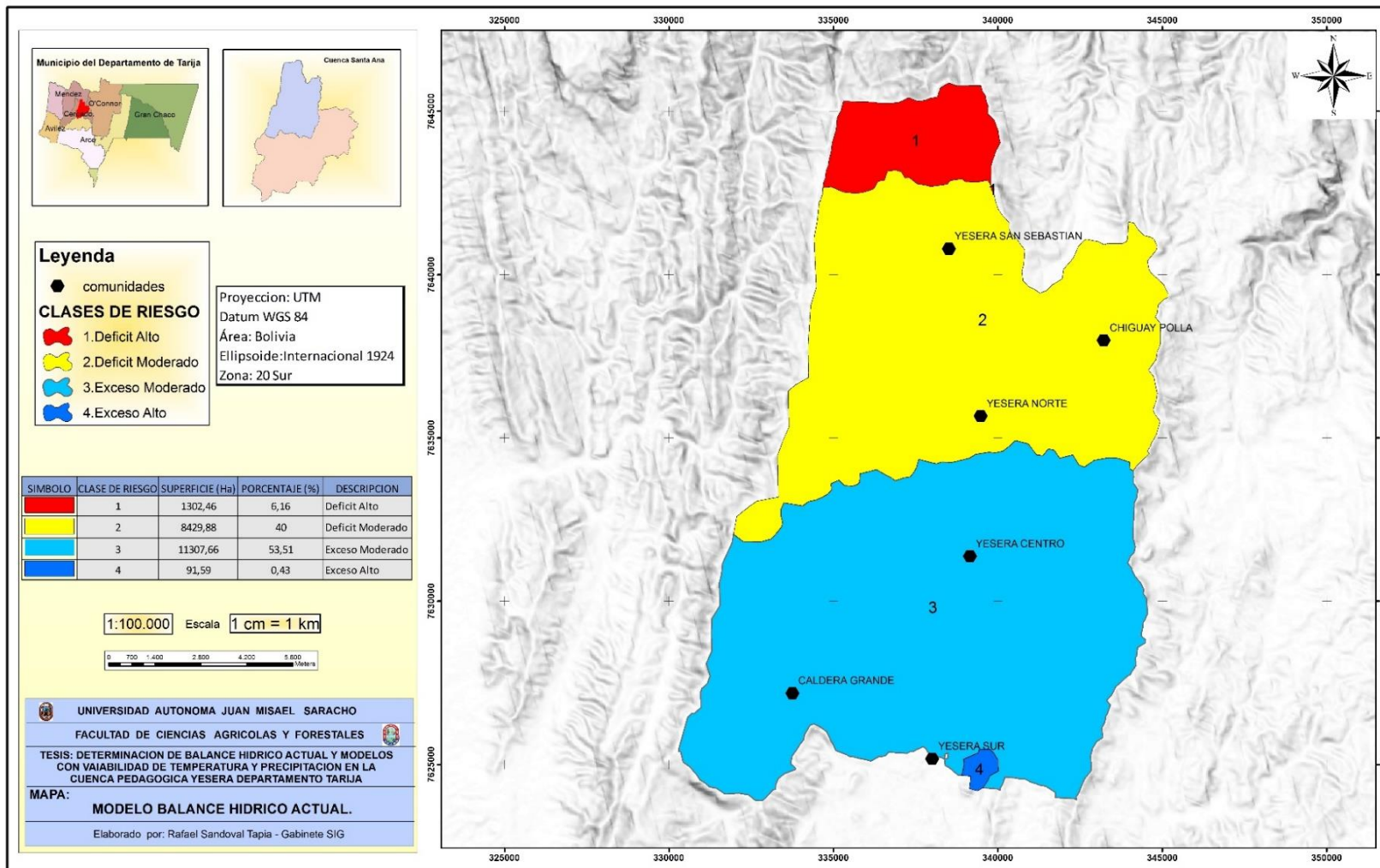
SIMBOLO	CLASE DE RIESGO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE (%)	DESCRIPCION
	1	1302,46	6,16	Deficit Alto
	2	8429,88	40	Deficit Moderado
	3	11307,66	53,51	Exceso Moderado
	4	91,59	0,43	Exceso Alto

El cuadro siguiente se presenta los elementos para determinar el mapa lo cual son el símbolo, que constituye el grado de balance hídrico tanto en el déficit o en los excesos de acuerdo al color que se presenta tanto rojo a azul.

Para las clases de riesgo se determinan mediante números del 1 al 4, luego se presenta la superficie donde se determina mediante hectáreas (ha), junto a ello la superficie que representa en la cuenca, y en la parte de descripción se determina el nombre de las clases de riesgo desde déficit alto a exceso alto.

El mapa 2 será presentado a continuación:

## Mapa 2. Balance Hídrico Actual



## MODELOS PESIMISTAS

### 5.2 BALANCE HÍDRICO MODELO PESIMISTA I

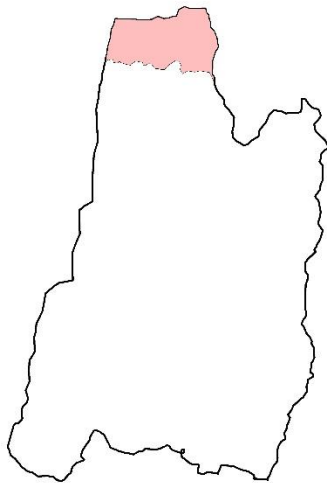
Según advertencias de la comunidad científica identifican que la temperatura aumentara 1 °C proyectado en 10 años, de esta manera tomaremos la pregunta siguiente para este modelo de balance hídrico ¿Qué pasaría si aumenta la temperatura 1°C y a eso le aumentamos que la precipitación descendiera un 25%? De ahí tomamos este modelo de balance hídrico lo cual sería llamado modelo PESIMISTA I, de acuerdo a Herbert Sturges se determinó 3 clases de riesgo lo cual se explicó en la parte del balance actual está plasmado en la siguiente tabla:

**Tabla 13. Clases de riesgo para el balance hídrico M.P.I**

CLASES DE RIESGO SEGÚN HERBERT STURGES		
CLASES DE RIESGO	RANGO (1, 2 y 3)	
Déficit Alto	-643,59	-316,35
Déficit Moderado	-316,35	10,89
Exceso Moderado	10,89	337,89

Mediante esta tabla se determinó 3 clases de riesgo (déficit alto, moderado y exceso moderado), que serán descritos a continuación.

#### 5.2.1. Déficit Alto



Este tipo de clase se presenta en el extremo de la cuenca pedagógica se encuentra en el norte más que todo en la zona alta y media de la misma, corresponde a las serranías altas y medias que comprende más que todo a parte de la comunidad de Yesera San Sebastián en gran parte, con una altura de 2600 a 3100 msnm, con una temperatura media anual de 17, 77 °C, mientras que la precipitación media anual disminuirá a 38 mm, la evapotranspiración de 52, 77 mm, la diferencia de estos (PP-ETP) generan un déficit anual de -14, 27 mm, esta

clase de riesgo representa una superficie de 1135, 12 ha lo cual representa el 5,37 % de la superficie total de la cuenca, dichos datos serán presentados en la siguiente tabla:

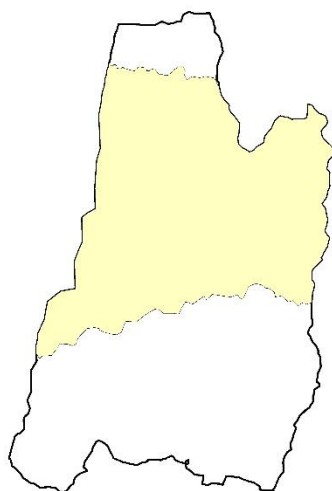


**Tabla 14. Resumen del subtítulo “Déficit Alto”**

Deficit Ato.				Deficit Alto	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)-25%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	2600 a 3100
ENE	20,48	89,4	69,59	SUPERFICIE (ha)	1135,12
FEB	19,76	87,99	58,79	PORCENTAJE (%)	5,37%
MAR	19,37	68,83	58,50	BALANCE MEDIO (mm)	-400
ABR	17,65	27,53	45,83		
MAY	15,37	7,31	37,14		
JUN	13,53	4,12	30,63		
JUL	13,49	1,90	32,50		
AGO	15,59	3,82	40,52		
SEP	17,39	8,87	49,42		
OCT	19,67	25,55	61,71		
NOV	20,29	47	71,56		
DIC	20,60	89,41	77,10		
Media Anual	17,77	38,5	52,77		
Deficit (PP - ETP)		-14,27 mm			

En el sector norte tiene un déficit muy alto que se presenta principalmente por la falta de vegetación que proporciona el sustento de agua en la misma y debido a la disminución del 25 % de precipitación genera estragos en esta zona lo cual determina un alto déficit hídrico en esta zona de la cuenca de Yesera. En esta clase de riesgo el balance medio es de (-400) y esta se encuentra en el rango de clase de riesgo 1 que es (-643,59 a -316,35) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 13), y esto se considera una alta pérdida de agua en las cabeceras de la cuenca o en la parte alta de la cuenca pedagógica de Yesera.

### 5.2.2. Déficit Moderado



En este modelo se presenta en las 3 partes de la cuenca desde la parte alta hacia la baja, donde corresponde a las serranías altas, medias como también a las llanuras de pie de montes, llanura aluvial y colinas.

Las comunidades de la cuenca que afectarían serían Yesera San Sebastián, Chiguaypolla, Yesera Norte y parte de Yesera Centro, con una altura de 2400 a 2900 msnm, con una temperatura media anual de 18 °C,

mientras que la precipitación media anual es 38, 5 mm, una evapotranspiración potencial de 52, 77 mm, la diferencia de estos generan un déficit de -12, 77 mm, esta clase de riesgo cuenta con una superficie de 10773, 36 ha, lo cual representa el 50, 99 % de la superficie total de la cuenca, dichos datos serán presentados a continuación:

**Tabla 15. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”**

Déficit Moderado.				Deficit Moderado	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)-25%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	2400 a 2900
ENE	20,48	89,4	69,59	SUPERFICIE (ha)	10773,36
FEB	19,76	87,99	58,79	PORCENTAJE (%)	50,99%
MAR	19,37	68,83	58,50	BALANCE MEDIO (mm)	-150
ABR	17,65	27,53	45,83		
MAY	15,37	7,31	37,14		
JUN	13,53	4,12	30,63		
JUL	13,49	1,90	32,50		
AGO	15,59	3,82	40,52		
SEP	17,39	8,87	49,42		
OCT	19,67	25,55	61,71		
NOV	20,29	47	71,56		
DIC	20,60	89,41	77,10		
Media Anual	17,77	38,5	52,77		
Déficit (PP - ETP)		-12,77 mm			

En esta parte media de la cuenca contiene un déficit moderado ya que presenta pérdida de agua desde la parte alta de la cuenca y donde la parte media, baja de la cuenca va dando aporte de agua sucesivamente ya que en esas zonas el agua se va almacenando en presas, atajados y demás. Esta clase de riesgo cuenta con un balance promedio de (-150 mm), lo cual se encuentra en el rango de clase de riesgo 2 (-316,35 a 10,89) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 13). Lo cual genera perdida moderada de agua en la parte alta y media de la cuenca hasta genera un aporte de agua muy menor en la parte baja ya que esta consideraría que el almacenaje de agua en presas, atajados y demás hace que el agua se almacene.

### 5.2.3. Exceso Moderado



Este modelo se ubica en todas las partes de la cuenca la cual tiene una pequeña porción en la parte alta, donde comprende serranías altas, media, llanura de piedemonte, aluvial y colinas bajas.

Las comunidades de la cuenca que comprende esta clase serían Yesera Centro, Yesera Sud y Caldera Grande, cuenta con una altura promedio de 2100 a 2700 msnm, con una temperatura media anual de 19 °C, una precipitación de 41 mm, una evapotranspiración de potencial de 52,77 mm, la diferencia de estos (PP-ETP) generan un déficit de -11,77 mm, esta clase de riesgo representa una superficie de 9223,13 ha lo cual representa el 43,65 % de la superficie total de la cuenca los parámetros serán presentados a continuación.

**Tabla 16. Resumen del subtítulo “Exceso Moderado”**

Deficit Moderado.				Exceso Moderado	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)-25%	ETP(mm)		
ENE	20,48	89,4	69,59	ALTURA (msnm)	2100 a 2700
FEB	19,76	87,99	58,79	SUPERFICIE (ha)	9223,13
MAR	19,37	68,83	58,50	PORCENTAJE (%)	43,65%
ABR	17,65	27,53	45,83	BALANCE MEDIO (mm)	50
MAY	15,37	7,31	37,14		
JUN	13,53	4,12	30,63		
JUL	13,49	1,90	32,50		
AGO	15,59	3,82	40,52		
SEP	17,39	8,87	49,42		
OCT	19,67	25,55	61,71		
NOV	20,29	47	71,56		
DIC	20,60	89,41	77,10		
Media Anual	17,77	38,5	52,77		
Deficit (PP - ETP)		-12,77 mm			

En estas partes de la cuenca se considera que existe un exceso moderado de agua ya que en estas partes se cuenta con vegetación que ayuda a la retención del líquido elemento y como se mencionaba en el anterior aspecto mediante las construcciones de

presas atajados y demás el agua se retiene desde la parte alta para almacenarse en las mismas y obtener un exceso moderado de agua. Esta clase de riesgo presenta un balance promedio de (50 mm), y esta se encuentra en el rango 3 (10,89 a 337,89) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 13), y esto se considera como un aporte bajo de agua desde la parte alta de la cuenca y sucesivamente va creciendo hacia la parte media y baja de la misma ya que en las comunidades utilizan el agua para el riego ya sea por inundación y riego.


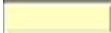

#### 5.2.4 BALANCE POR MESES (Modelo Pesimista I).

Se determinó que este balance empezará a haber en los meses aportantes de agua, que serán: diciembre, enero, febrero y marzo (ver anexo cuadro 3 y 4).

También se determina que los meses de déficit serían: abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre (ver anexo gráfico 2).

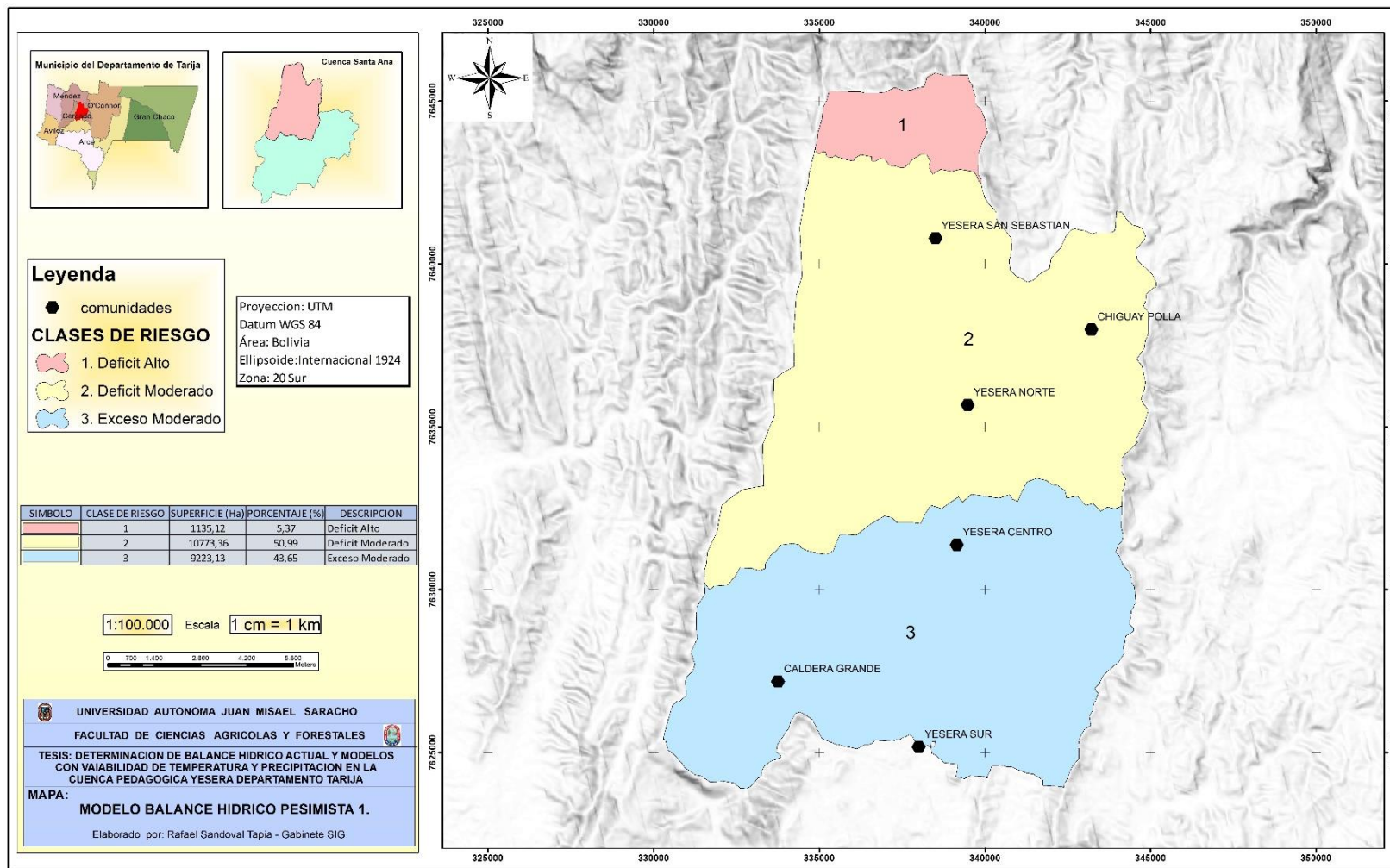
#### -Interpretación del mapa (Mapa 3) balance hídrico modelo pesimista I

El cuadro y el mapa que se presenta a continuación de acuerdo al modelo presentado que es la disminución de la precipitación un 25 % se determina que: En la parte alta de la cuenca presenta una clase de riesgo 1 (déficit alto) de (-400 mm), lo cual al disminuir la precipitación el déficit aumenta. En la parte media de la cuenca se hace presente la clase de riesgo 2 (déficit moderado) de (-150 mm), se observa que el déficit va disminuyendo. En la parte baja de la cuenca se presenta la clase de riesgo 3 (exceso moderado), donde se ve que en la parte baja se sigue manteniendo el exceso de (50 mm).

SÍMBOLO	CLASE DE RIESGO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE (%)	DESCRIPCION
	1	1135,12	5,37	Deficit Alto
	2	10773,36	50,99	Deficit Moderado
	3	9223,13	43,65	Exceso Moderado

En el cuadro se determina el símbolo del rango de clase de riesgo que va de color rojo a celeste, junto a ella la clase de riesgo del 1 al 3, junto a ellos la superficie y su porcentaje correspondiente y la descripción que va desde déficit alto a exceso moderado, el Mapa Nro. 3 se presenta a continuación:

**Mapa 3. Balance hídrico Modelo Pesimista I**



### 5.3 BALANCE HÍDRICO MODELO PESIMISTA II

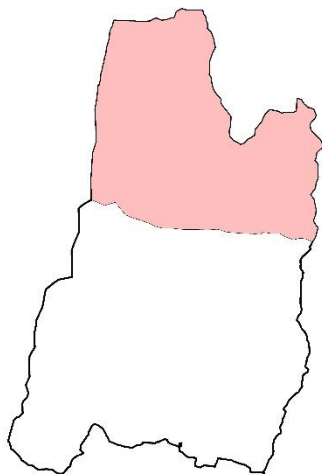
Como se había mencionado anteriormente que la temperatura a futuro se incrementara 1 °C, de esta manera tomaremos la pregunta siguiente para este modelo de balance hídrico ¿Qué pasaría si aumenta la temperatura 1°C y a eso le aumentamos que la precipitación descendiera un 50%? De ahí tomamos este modelo de balance hídrico lo cual sería llamado modelo PESIMISTA II, este dará como resultados 2 rangos de clases de riesgo y su procedimiento es igual que el balance actual, serán descritas a continuación en el siguiente cuadro:

**Tabla 17. Clases de riesgo para el balance hídrico M.P.II**

CLASES DE RIESGO SEGÚN HERBERT STURGES		
CLASES DE RIESGO	RANGO (1, y 2)	
Déficit Alto	-643,59	-316,35
Déficit Moderado	-316,35	10,89

Mediante este cuadro se determinó 2 clases de riesgo (déficit alto y moderado), que serán descritas a continuación.

#### 5.3.1 Déficit Alto



Esta clase se presenta en mayoría en la parte alta y media de la cuenca donde hay una pequeña porción de la parte baja, corresponde a las serranías altas, medias llanuras de pie de montes, llanura aluvial y colinas. Que comprende más que todo a parte de la comunidad de Yesera San Sebastián, Chiguaypolla y una parte de Yesera Norte, con una altura promedio de 2600 a 3600 msnm, una temperatura media anual de 18 °C, mientras que la precipitación media anual es de 25 mm, una evapotranspiración de 51, 55 mm, lo cual la diferencia

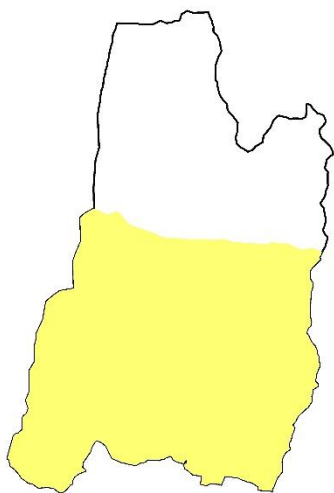
de estos (PP-ETP) genera un déficit de -26, 55 mm, esta clase de riesgo representa una superficie de 7814, 75 ha lo cual representa un 36, 98 % de la superficie total de la cuenca, dichos parámetros serán mostrados a continuación.

**Tabla 18. Resumen del subtítulo “Déficit Alto”**

Deficit Alto.				Deficit Alto	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)-50%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	
ENE	20,48	59,6	69,59		2600 a 3200
FEB	19,76	58,66	58,79		7814,75
MAR	19,37	45,89	58,50		36,98%
ABR	17,65	18,36	45,83		
MAY	15,37	4,87	37,14		
JUN	13,53	2,75	30,63		
JUL	13,5	1,27	32,50		
AGO	15,59	2,55	40,52		
SEP	17,39	5,92	49,42		
OCT	19,67	17,04	61,71		
NOV	20,29	31,54	64,55		
DIC	20,60	59,61	69,40		
Media Anual	18,00	25,0	51,55		
Deficit (PP - ETP)		-26,55 mm			

En esta zona se determina que el déficit de agua va casi en toda la mitad de la cuenca tomando en cuenta que la precipitación disminuyera el 50 % de lo que aporta normalmente trayendo consecuencias. Esta clase de riesgo presenta un balance medio de (-643 mm) ya que se encuentra en la clase de riesgo 1 que es (-643,59 a -346,45) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 17).

### 5.3.2 Déficit Moderado



Esta clase se presenta partiendo desde la parte alta, parte media hacia la parte baja de la cuenca que corresponde a las serranías altas, medias como también a las llanuras de pie de montes, llanura aluvial y colinas.

Las comunidades de la cuenca que afectarían serían Yesera Centro, Caldera Grande y Yesera Sud, con una altura de 2200 a 2900 msnm, una temperatura de media anual de 19 °C, una precipitación de 27 mm, una evapotranspiración de 51, 55 mm, lo cual la diferencia

de estos (PP-ETP) genera un déficit de -25, 55 mm, esta clase de riesgo representa una superficie de 13316, 85 ha lo cual representa un 63, 02 % del total de la cuenca:

**Tabla 19. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”**

Deficit Moderado.				Deficit Moderado	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)-50%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	2200 a 2900
ENE	20,48	59,6	69,59	SUPERFICIE (ha)	13316,85
FEB	19,76	58,66	58,79	PORCENTAJE (%)	63,02%
MAR	19,37	45,89	58,50	BALANCE MEDIO (mm)	-200
ABR	17,65	18,36	45,83		
MAY	15,37	4,87	37,14		
JUN	13,53	2,75	30,63		
JUL	13,49	1,27	32,50		
AGO	15,59	2,55	40,52		
SEP	17,39	5,92	49,42		
OCT	19,67	17,04	61,71		
NOV	20,29	31,54	64,55		
DIC	20,60	59,61	69,40		
Media Anual	19,00	27,0	51,55		
Deficit (PP - ETP)		-25,55 mm			

En estas comunidades presentan un déficit moderado ya que va desde la pérdida de agua hacia el aporte bajo de agua en la misma gracias a la vegetación que se da en la parte media y baja de la cuenca. En esta clasificación podemos determinar que existe una pérdida moderada de agua a un aporte bajo o menor lo cual se encuentra en el rango 2 (-316,35 a 10,89) según Herbert Sturges (1926) que está ubicado en la tabla 17.

### 5.3.3 BALANCE POR MESES (Modelo Pesimista II)

Se determina mediante este modelo que no hay ningún mes aportante al ver que la precipitación disminuyo la mitad se observa que existe un grave déficit anual en la cuenca de yesera (ver anexo cuadro 5 y 6), (ver anexo gráfico 3).

#### -Interpretación del mapa (Mapa 4) balance hídrico modelo pesimista II

De acuerdo al cuadro y mapa la disminución de la precipitación un 50 % se presenta: En la parte alta de la cuenca existe un mayor déficit (déficit alto) de (-643 mm), viendo que será mas afectada. En la parte media y baja de la cuenca se sigue haciendo presente (déficit moderado) de (-200 mm), al ver que la precipitación disminuyo



considerablemente solo en la cuenca está presente el déficit hídrico en las tres partes de la cuenca.

SIMBOLOS	CLASE DE RIESGO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE (%)	DESCRIPCION
	1	7814,75	36,98	Deficit Alto
	2	13316,85	63,02	Deficit Moderado

En el cuadro siguiente se puede apreciar los símbolos que en este caso solo serian rojo y amarillo de acuerdo al grado de clase de riesgo.

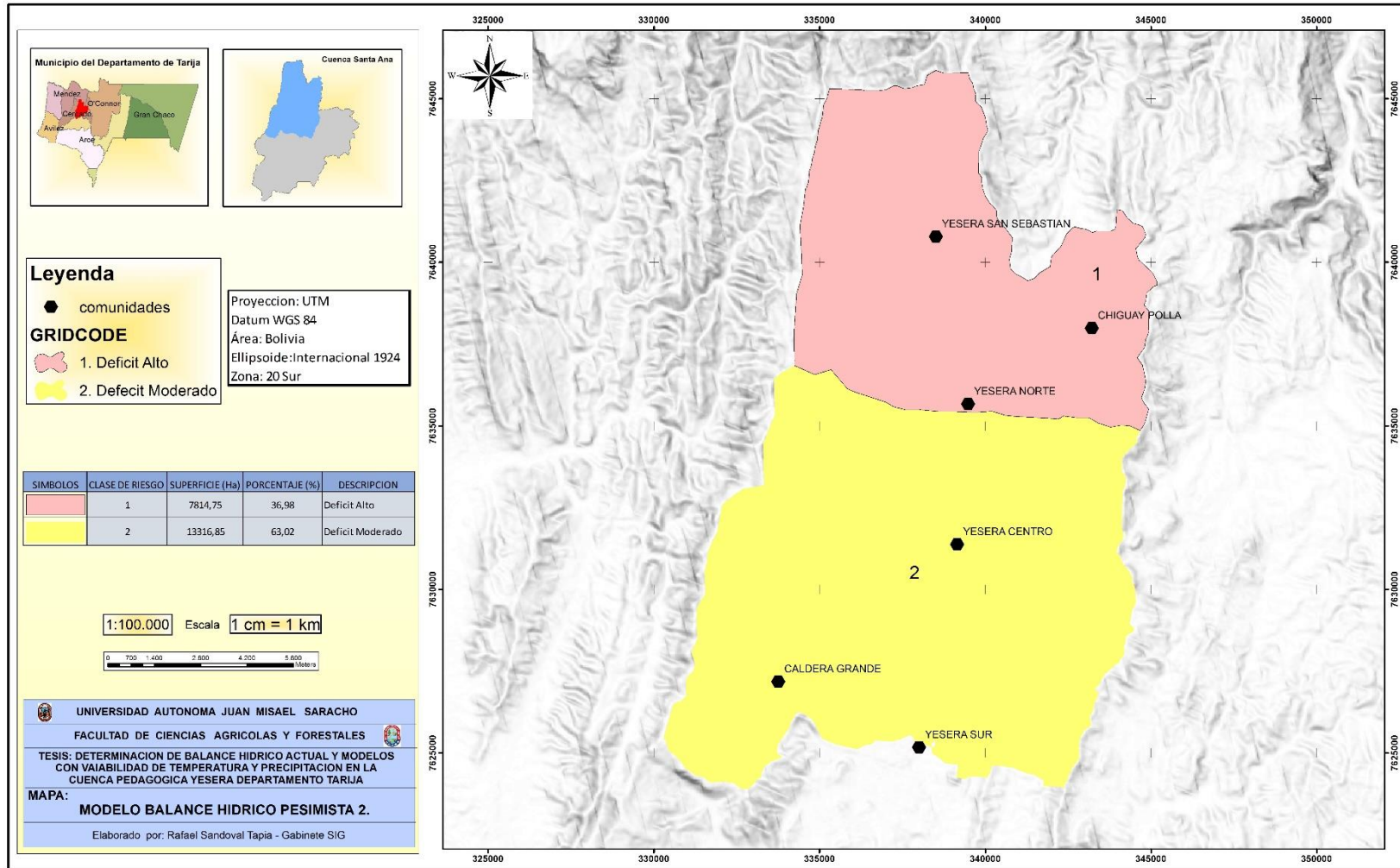
En la parte de clase de riesgo solo se puede apreciar los números 1 y 2.

En la parte de superficie se aprecie el tamaño de cada clase de riesgo y junto a ella se determina el porcentaje que representa la misma.

En la parte de descripción solo se observa que hay el déficit alto y moderado.

El mapa Nro. 4 se presenta a continuación:

**Mapa 4. Balance hídrico Modelo Pesimista II**



## MODELOS OPTIMISTAS

### 5.4 BALANCE MODELO OPTIMISTA I

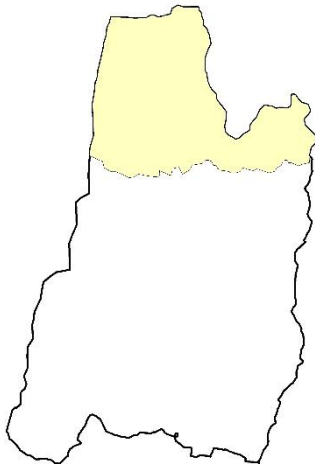
De acuerdo a que la temperatura promedio subirá 1°C a proyección de 10 años como consecuencia el cambio climático, determinaremos esta pregunta ¿Qué pasaría si aumenta la temperatura 1°C y a eso le aumentamos que la precipitación ascendiera un 25%? De ahí tomamos este modelo como OPTIMISTA I que describe 3 zonas de riesgo que serán descritas a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 20. Clases de riesgo para el balance hídrico M.O.I**

CLASES DE RIESGO SEGÚN HERBERT STURGES		
CLASES DE RIESGO	RANGO (1, 2 y 3)	
Déficit Moderado	-316,35	10,89
Exceso Moderado	10,89	337,89
Exceso Alto	337,89	665,4

En este cuadro se determinó 3 zonas de riesgo (déficit moderado, exceso moderado y alto), que serán descritas a continuación.

#### 5.4.1. Déficit Moderado



Este tipo de clase se presenta en el extremo de la cuenca pedagógica y se encuentra en el norte más que todo en la zona alta, media y una pequeña porción en la parte baja de la misma, corresponde a las serranías altas, medias llanuras de pie de montes, llanura aluvial y colinas. Que comprende más que todo a parte de la comunidad de Yesera San Sebastián, Chiguaypolla, cuenta con una altura promedio de 2600 a 3200 msnm, una temperatura media anual de 17 °C, una precipitación media anual de 64 mm, una evapotranspiración media anual de 18, 70 mm, lo cual la diferencia de estos (PP-ETP) generan un exceso de 45, 3 mm, esta clase

de riesgo representa una superficie de 5251,02 ha lo cual representa el 24,85 % de la superficie total de la cuenca, los parámetros se presentan a continuación.

**Tabla 21. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”**

Deficit Moderado.				Deficit Moderado	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)+25%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	2600 a 3200
ENE	20,48	149,0	25,24	SUPERFICIE (ha)	5251,02
FEB	19,76	146,66	21,33	PORCENTAJE (%)	24,85%
MAR	19,37	114,72	21,22	BALANCE MEDIO (mm)	-50
ABR	17,65	45,89	16,62		
MAY	15,37	12,18	13,47		
JUN	13,53	6,87	11,11		
JUL	13,49	3,17	11,79		
AGO	15,59	5,09	13,58		
SEP	17,39	11,83	20,14		
OCT	19,67	34,07	25,32		
NOV	20,29	63,09	28,48		
DIC	20,60	149,02	25,18		
Media Anual	17,00	64,0	18,70		
Exceso (PP - ETP)		45,3 mm.			

En estas comunidades mediante este modelo se determina que tienes un déficit moderado ya que la precipitación ascenderá un 25 % y eso hace que desde la parte alta haya un déficit moderado. En esta clase de riesgo se presenta un balance promedio de (-50 mm), lo cual se encuentra en el rango de clase de riesgo 2 (-316,35 a 10,89) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 20).

#### 5.4.2. Exceso Moderado



Esta clase va desde una pequeña porción de la parte alta, una pequeña porción de la parte media y una gran mayoría en la parte media y baja de la cuenca lo cual comprende serranías altas, media, llanura de piedemonte, aluvial y colinas bajas.

Las comunidades de la cuenca que comprende esta clase serían Yesera Norte, Yesera Centro y una parte de Caldera Grande, con una altura promedio de 2300 a 2900 msnm, con una temperatura media anual de 18 °C,

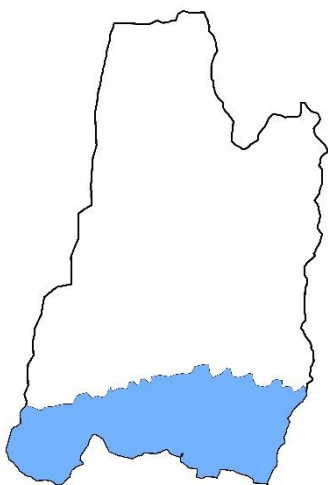
mientras que la precipitación media anual es de 67 mm, una evapotranspiración de 18, 70 mm, lo cual la diferencia de estos (PP-ETP) generan un exceso de 48, 3 mm, esta clase de riesgo representa una superficie de 11201, 21 ha lo cual representa el 53, 01 %de la superficie total de la cuenca, los parámetros serán descritos a continuación.

**Tabla 22. Resumen del subtítulo “Exceso Moderado”**

Exceso Moderado.				Exceso Moderado	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)+25%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	2300 a 2900
ENE	20,48	149,0	25,24	SUPERFICIE (ha)	11201,21
FEB	19,76	146,66	21,33	PORCENTAJE (%)	53,01%
MAR	19,37	114,72	21,22	BALANCE MEDIO (mm)	150
ABR	17,65	45,89	16,62		
MAY	15,37	12,18	13,47		
JUN	13,53	6,87	11,11		
JUL	13,49	3,17	11,79		
AGO	15,59	5,09	13,58		
SEP	17,39	11,83	20,14		
OCT	19,67	34,07	25,32		
NOV	20,29	63,09	28,48		
DIC	20,60	149,02	25,18		
Media Anual	18,00	67,0	18,70		
Exceso (PP - ETP)		48,3 mm.			

En esta clase determinamos que el exceso moderado se presenta en zona centro de la cuenca va dando resultados positivos en la misma. Esta clase de riesgo presenta un balance promedio de (150 mm), y esta se encuentra en el rango 3 (10,89 a 337,89) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 20).

### 5.4.3. Exceso Alto



En esta clase va partiendo en toda la parte sur como también pertenece a la parte baja de la cuenca, lo cual comprende el paisaje de llanuras de piedemonte, llanuras aluviales y colinas bajas.

Las comunidades que abarca esta clase comprenden una parte solamente de la comunidad de Yesera Sud y Caldera Grande, cuenta con una altura de 2100 a 2700 msnm, cuenta con una temperatura media anual de 18 °C, una

precipitación media anual de 68 mm, una evapotranspiración potencial de 18,70 mm, la diferencia de estos (PP-ETP) generan un exceso de 49,3 mm, este rango de clase de riesgo presenta una superficie de 4679,37 ha lo cual representa un 22,15 % de la superficie total de la cuenca el cuadro resumen será presentado a continuación.

**Tabla 23. Resumen del subtítulo “Exceso Alto”**

Exceso Alto.				Exceso Alto	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)+25%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	2100 a 2700
ENE	20,48	149,0	25,24	SUPERFICIE (ha)	4679,37
FEB	19,76	146,66	21,33	PORCENTAJE (%)	22,15%
MAR	19,37	114,72	21,22	BALANCE MEDIO (mm)	400
ABR	17,65	45,89	16,62		
MAY	15,37	12,18	13,47		
JUN	13,53	6,87	11,11		
JUL	13,49	3,17	11,79		
AGO	15,59	5,09	13,58		
SEP	17,39	11,83	20,14		
OCT	19,67	34,07	25,32		
NOV	20,29	63,09	28,48		
DIC	20,60	149,02	25,18		
Media Anual	18,00	68,0	18,70		
Exceso (PP - ETP)		49,3 mm.			

Este rango de clase de riesgo presenta un balance promedio de (400 mm), y esta se encuentra en el rango de clase de riesgo 4 (337,89 a 665,4) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 20).

#### **5.4.4. BALANCE POR MESES (Modelo Optimista I)**

Mediante este modelo se determina que los meses aportantes de agua aumentan lo cual serían: octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, y los meses con déficit hídrico serían: mayo, junio, julio, agosto y septiembre (ver anexo cuadro 7 y 8), (ver anexo gráfico 4).

#### **-Interpretación del mapa (Mapa 5) balance hídrico modelo optimista I**

De acuerdo al cuadro y al mapa, la precipitación aumenta un 25 % se presenta: En la parte alta de la cuenca presenta la clase de riesgo 2 (déficit moderado). En la parte media de la cuenca la clase de riesgo 3 (exceso moderado). En la parte baja de la cuenca

se presenta la clase de riesgo 4 (exceso alto), al aumentar la precipitación se observa que el déficit hídrico va disminuyendo hasta tener un exceso considerable.

SIMBOLO	CLASE DE RIESGO	SUPERFICIE (Ha)	Porcentaje (%)	DESCRIPCION
	2	5251,02	24,85	Deficit Moderado
	3	11201,21	53,01	Exceso Moderado
	4	4679,37	22,15	Exceso Alto

En el cuadro siguiente se puede observar los símbolos que representan las clases de riesgo que va desde el color amarillo hasta el azul.

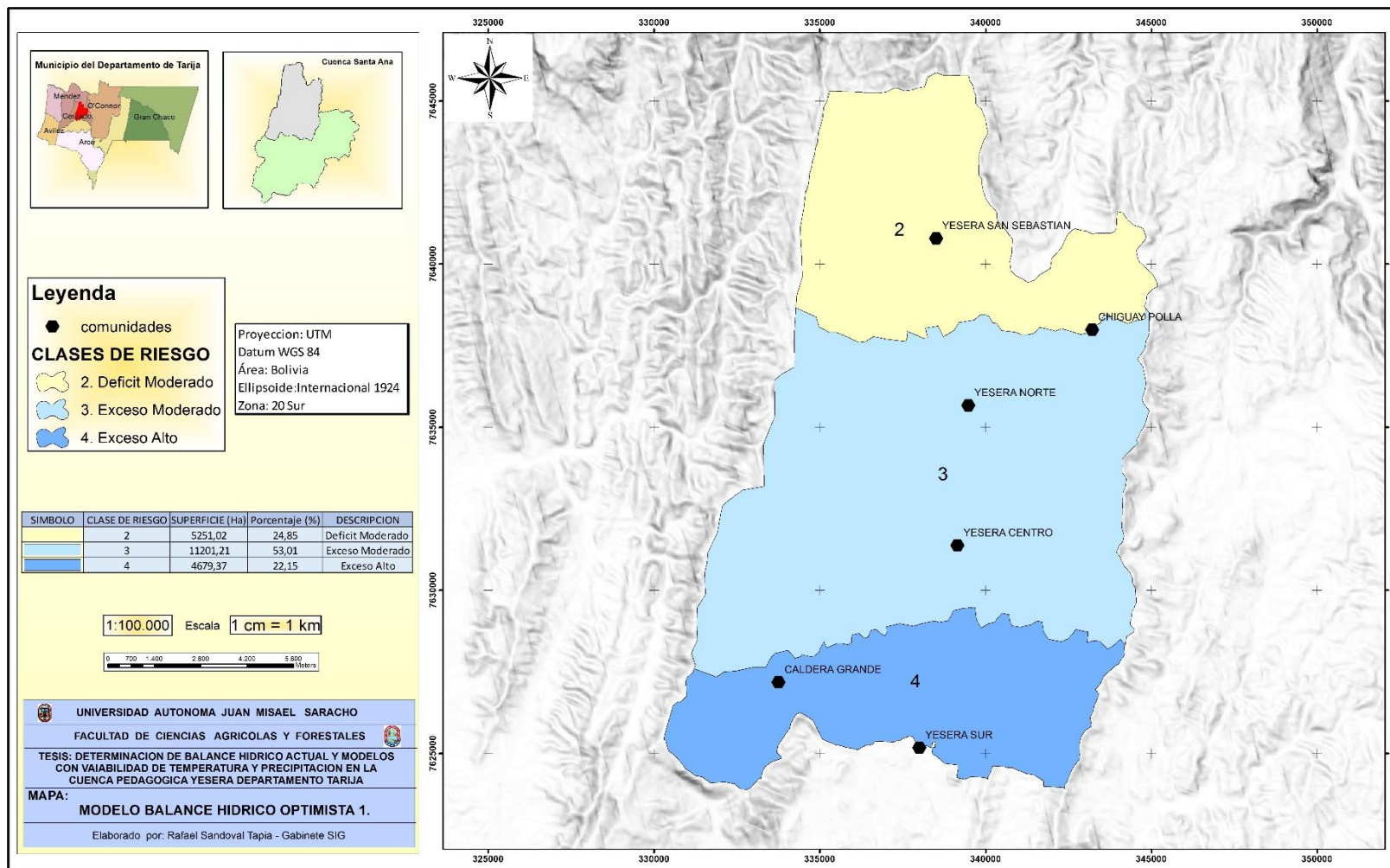
En las clases de riesgo se representa que va desde el numero 2 al 4.

En la siguiente casilla se determina que la superficie de cada rango de clase de riesgo junto a ella va el porcentaje que determina cada una de ellas.

En la descripción se puede observar que va desde el déficit moderado a exceso alto.

El mapa Nro. 5 se presenta a continuación:

**Mapa 5. Balance Hídrico Modelo Optimista I**





## 5.5. BALANCE MODELO OPTIMISTA II

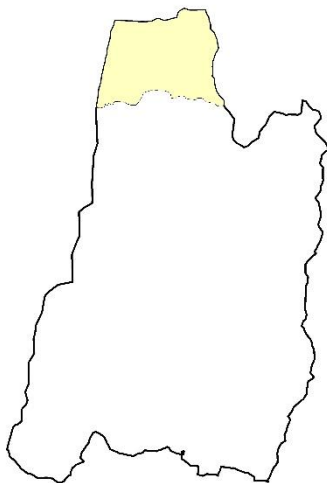
De acuerdo a que la temperatura promedio subirá 1°C a proyección de 10 años como consecuencia el cambio climático determinaremos esta pregunta ¿Qué pasaría si aumenta la temperatura 1°C y a eso le aumentamos que la precipitación ascendiera un 50%? De ahí tomamos este modelo como OPTIMISTA II que describe 3 zonas de riesgo que son el son datos obtenidos mediante la plataforma ArcGIS que se menciona en la metodología del balance actual que serán descritas a continuación:

**Tabla 24. Clases de riesgo para el balance hídrico M.O.II**

<b>CLASES DE RIESGO SEGÚN HERBERT STURGES</b>		
<b>CLASES DE RIESGO</b>	<b>RANGO (1, 2 y 3)</b>	
<b>Déficit Moderado</b>	<b>-316,35</b>	<b>10,89</b>
<b>Exceso Moderado</b>	<b>10,89</b>	<b>337,89</b>
<b>Exceso Alto</b>	<b>337,89</b>	<b>665,4</b>

En este subtítulo se determinó 3 clases de riesgo (déficit moderado, exceso moderado y alto) que serán descritos a continuación.

### 5.5.1. Déficit Moderado



Este tipo de clase se presenta en el extremo de la cuenca pedagógica y se encuentra en el norte en la zona alta y media de la misma, corresponde a las serranías altas, medias. Que comprende más que todo a parte de la comunidad de Yesera San Sebastián, con una altura de 2600 a 3200 msnm, una temperatura media anual de 16 °C, una precipitación de media anual de 76 mm, una evapotranspiración potencial media anual de 51, 55 mm, la diferencia de estos (PP-ETP) genera un exceso de 24,

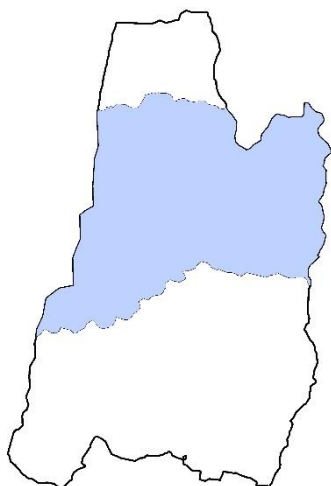
45 mm, esta clase de riesgo presenta una superficie de 1910, 24 ha lo cual representa el 9, 04 % de la superficie total de la cuenca, dichos datos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 25. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”**

Déficit Moderado.				Déficit Moderado	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)+50%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	
ENE	20,48	178,8	69,59		2600 a 3200
FEB	19,76	175,99	58,79		1910,24
MAR	19,37	137,66	58,50		9,04%
ABR	17,65	55,07	45,83		
MAY	15,37	14,61	37,14		
JUN	13,53	8,24	30,63		
JUL	13,49	3,81	32,50		
AGO	15,59	7,64	40,52		
SEP	17,39	17,75	49,42		
OCT	19,67	51,11	61,71		
NOV	20,29	94,63	64,55		
DIC	20,60	178,82	69,40		
Media Anual	16,00	76,0	51,55		
Exceso (PP - ETP)		24,45 mm.			

En esta zona se determina que existe un poco el déficit moderado y eso da resultados positivos ya que en la parte alta existe el déficit moderado hacia un aporte menor de agua en la parte media de la cuenca. Esta clase de riesgo presenta un balance promedio de (-30 mm), lo cual se encuentra en el rango de clase de riesgo 2 (-316,35 a 10,89) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 24).

### 5.5.2. Exceso Moderado



Esta clase va desde una pequeña porción de la parte alta, una pequeña porción de la parte media y una gran mayoría en la parte media y baja de la cuenca lo cual comprende serranías altas, media, llanura de piedemonte, aluvial y colinas bajas.

Las comunidades de la cuenca que comprende esta clase serían una parte de Yesera San Sebastián, Yesera Norte, Chiguaypolla, con una altura promedio de 2400 a 3000 msnm, una temperatura de 18 °C, una precipitación de 80 mm, una evapotranspiración de 51, 55 mm, lo cual la diferencia de estos (PP-ETP) generan un exceso de 28, 45 mm, esta clase de riesgo

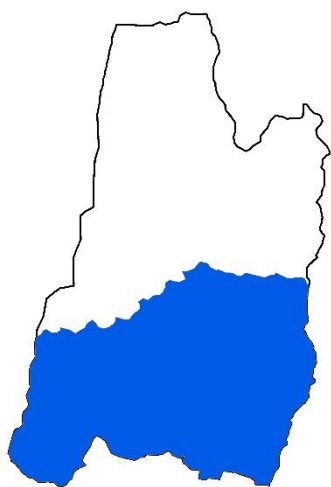
presenta una superficie de 9129, 01 ha lo cual representa un 43, 20 % de la superficie total de la cuenca, los datos se presentan a continuación:

**Tabla 26. Resumen del subtítulo “Exceso Moderado”**

Exceso Moderado.				Exceso Moderado	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)+50%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	
ENE	20,48	178,8	69,59		2400 a 3000
FEB	19,76	175,99	58,79		9129,01
MAR	19,37	137,66	58,50		28,45%
ABR	17,65	55,07	45,83		BALANCE MEDIO (mm)
MAY	15,37	14,61	37,14		200
JUN	13,53	8,24	30,63		
JUL	13,49	3,81	32,50		
AGO	15,59	7,64	40,52		
SEP	17,39	17,75	49,42		
OCT	19,67	51,11	61,71		
NOV	20,29	94,63	64,55		
DIC	20,60	178,82	69,40		
Media Anual	18,00	80,0	51,55		
Exceso (PP - ETP)		28,45 mm.			

Esta clase de riesgo presenta un balance promedio de (200 mm), y esta se encuentra en el rango de clase de riesgo 3 (10,89 a 337,89) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 24).

### 5.5.3. Exceso Alto



En esta clase va partiendo en toda la parte sur como también pertenece a la parte baja de la cuenca, lo cual comprende el paisaje de llanuras de piedemonte, llanuras aluviales y colinas bajas.

Las comunidades que abarca esta clase comprenden una parte solamente de la comunidad de Yesera Sud, con una altura promedio de 2200 a 2700 msnm, una temperatura media anual de 19 °C, una precipitación de 82 mm, una evapotranspiración media anual de 51, 55, lo cual la diferencia de estos (PP-ETP) mm generan un

exceso de 30, 45 mm, esta clase de riesgo presenta una superficie de 10092, 35 ha lo

cual representa un 47, 76 % de la superficie total de la cuenca, dichos datos serán presentados a continuación:

**Tabla 27. Resumen del subtítulo “Exceso Alto”**

Exceso Alto.				Exceso Alto	
PARAMETRO	TM (°C)	PP (mm)+50%	ETP(mm)	ALTURA (msnm)	2100 a 2700
ENE	20,48	178,8	69,59	SUPERFICIE (ha)	10092,35
FEB	19,76	175,99	58,79	PORCENTAJE (%)	47,76%
MAR	19,37	137,66	58,50	BALANCE MEDIO (mm)	665
ABR	17,65	55,07	45,83		
MAY	15,37	14,61	37,14		
JUN	13,53	8,24	30,63		
JUL	13,49	3,81	32,50		
AGO	15,59	7,64	40,52		
SEP	17,39	17,75	49,42		
OCT	19,67	51,11	61,71		
NOV	20,29	94,63	64,55		
DIC	20,60	178,82	69,40		
Media Anual	19,00	82,0	51,55		
Exceso (PP - ETP)		30,45 mm.			

Se puede determinar que el exceso de agua se va dando por casi la totalidad de la parte baja de la cuenca y unas partes de la parte alta y media de la cuenca dando un aporte moderado de agua hasta un aporte alto de la misma. Esta clase de riesgo presenta un balance promedio de (665 mm) ya que se encuentra en el rango de clase de riesgo 4 (337,89 a 665,4) según Herbert Sturges (1926), (ver tabla 24).

#### **5.5.4. BALANCE POR MESES.**

Este modelo da los mese aportantes de agua serian: Noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril mientras que los meses de déficit hídrico son: Mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, (ver anexo cuadro 9 y 10), (ver anexo gráfico 5).

#### **-Interpretación del mapa (Mapa 6) balance hídrico modelo optimista II**

De acuerdo al cuadro y al mapa, el incremento de la precipitación un 50 % se determinó: En la parte alta de la cuenca se presenta la clase de riesgo 2 (déficit moderado) de (-30 mm), en la parte media de la cuenca se presenta la clase de riesgo 3 (exceso moderado) de (200 mm), en la parte baja de la cuenca se presenta la clase riesgo 4 (exceso alto) de (665, 38 mm), de acuerdo a este modelo el déficit va

disminuyendo en la parte alta hasta tener un exceso considerable en la parte baja de la cuenca de acuerdo al incremento de la precipitación, el mapa se presenta a continuación.

SÍMBOLO	CLASES DE RIESGO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE (%)	DESCRIPCION
	2	1910,24	9,04	Deficit Moderado
	3	9129,01	43,20	Exceso Moderado
	4	10092,35	47,76	Exceso Alto

En el cuadro siguiente se puede observar los símbolos que representan las clases de riesgo que va desde el color amarillo hasta el azul.

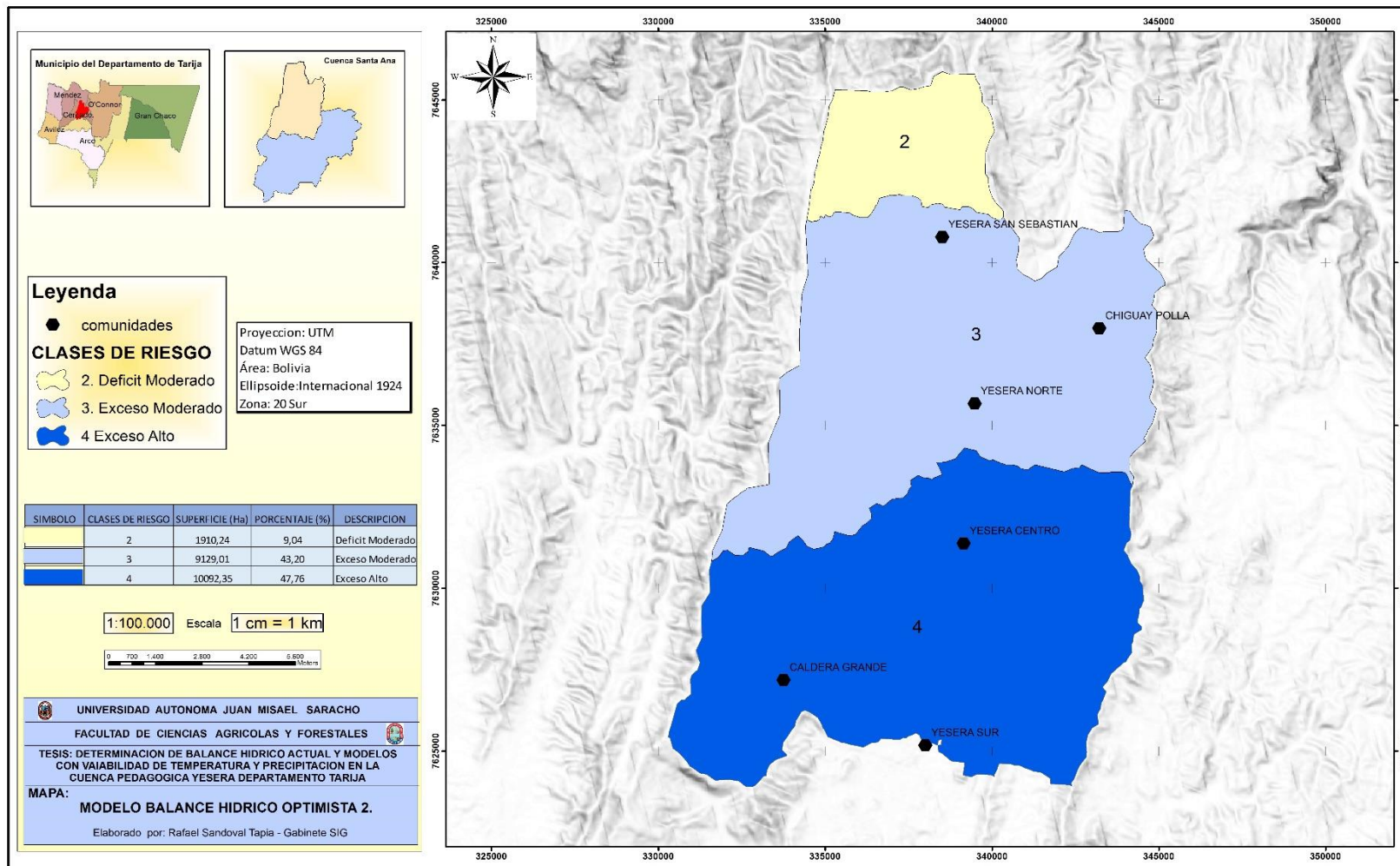
En las clases de riesgo se representa que va desde el numero 2 al 4.

En la siguiente casilla se determina que la superficie de cada rango de clase de riesgo junto a ella va el porcentaje que determina cada una de ellas.

En la descripción se puede observar que va desde el déficit moderado a exceso alto.

El mapa Nro. 6 se presenta a continuación:

Mapa 6. Balance Hídrico Modelo Optimista II



## 5.6. DETERMINACIÓN DE COMUNIDADES AFECTADAS POR LOS MODELO OBTENIDOS

### 5.6.1. Balance hídrico normal (Actual)

De acuerdo al número de clases de riesgo que se determinó según Herbert Sturges, mediante eso se determina las comunidades afectadas mediante esta tabla que se presenta:

**Tabla 28. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo.**

CLASES DE RIESGO	RANGO (1, 2, 3 y 4)		COMUNIDADES
<b>Déficit Alto</b>	<b>-643,59</b>	<b>-316,35</b>	Yesera San Sebastián.
<b>Déficit Moderado</b>	<b>-316,35</b>	<b>10,89</b>	Yesera Norte, Chiguaypolla.
<b>Exceso Moderado</b>	<b>10,89</b>	<b>337,89</b>	Yesera Centro, Caldera Grande.
<b>Exceso Alto</b>	<b>337,89</b>	<b>665,4</b>	Yesera Sud.

De acuerdo a esta tabla se presenta las comunidades afectadas al modelo actual de balance hídrico lo cual se determinó 3 clases de riesgo y junto a ella se determinó los balances promedios en las mismas: (déficit alto -320 mm), (ver tabla 9), (déficit moderado -90 mm), (ver tabla 10), (exceso moderado 20 mm), (ver tabla 11), (exceso alto 360 mm), (ver tabla 12).

### 5.6.2. Balance hídrico modelo pesimista 1

Tomando en cuenta que la temperatura subirá un grado a futuro (10 años), y tomando en cuenta que la precipitación descenderá entre un 25%, de acuerdo a Herbert Sturges se determina las comunidades afectadas:

**Tabla 29. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo:  
(Modelo Pesimista I).**

CLASES DE RIESGO	RANGO (1, 2 y 3)		COMUNIDADES
<b>Déficit Alto</b>	<b>-643,59</b>	<b>-316,35</b>	Yesera San Sebastián.
<b>Déficit Moderado</b>	<b>-316,35</b>	<b>10,89</b>	Yesera Norte, Chiguaypolla.
<b>Exceso Moderado</b>	<b>10,89</b>	<b>337,89</b>	Yesera Centro, Yesera Sud, Caldera Grande.

De acuerdo a la tabla se presenta las comunidades afectadas de acuerdo al modelo pesimista I (Temperatura +1 °C y precipitación -25 %), lo cual se presenta 3 clases de riesgo (déficit alto -400 mm), (ver tabla 14), (déficit moderado -150 mm), (ver tabla 15), (exceso moderado 50 mm), (ver tabla 16).

### 5.6.3. Balance hídrico modelo pesimista 2

Tomando en cuenta que la temperatura subirá un grado a futuro (10 años) y tomando en cuenta que la precipitación descenderá entre un 50%, de acuerdo a Herbert Sturges, se determina las comunidades afectadas:

**Tabla 30. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo:**

**(Modelo Pesimista II).**

<b>CLASES DE RIESGO</b>	<b>RANGO (1 y 2)</b>		<b>COMUNIDADES</b>
<b>Déficit Alto</b>	<b>-643,59</b>	<b>-316,35</b>	Yesera San Sebastián, Yesera Norte, Chiguaypolla.
<b>Déficit Moderado</b>	<b>-316,35</b>	<b>10,89</b>	Yesera Centro, Yesera Sud, Caldera Grande.

De acuerdo a la tabla se presenta las comunidades afectadas a este modelo pesimista II (Temperatura +1 °C y precipitación -50 %), lo cual se presenta 2 clases de riesgo junto a ello su balance promedio (déficit alto -643 mm), (ver tabla 18), (déficit moderado -200 mm), (ver tabla 19).

### 5.6.4. Balance hídrico modelo optimista 1.

Tomando en cuenta que a futuro se determina que la temperatura subirá un grado proyección de 10 años y a medida de eso le ascendemos un 25%, de acuerdo a Herbert Sturges, se presenta las comunidades afectadas:

**Tabla 31. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo:**

**(Modelo Optimista I).**

<b>CLASES DE RIESGO</b>	<b>RANGO (1, 2 y 3)</b>		<b>COMUNIDADES</b>
<b>Déficit Moderado</b>	<b>-316,35</b>	<b>10,89</b>	Yesera San Sebastián, Chiguaypolla.
<b>Exceso Moderado</b>	<b>10,89</b>	<b>337,89</b>	Yesera Norte, Yesera Centro.
<b>Exceso Alto</b>	<b>337,89</b>	<b>665,4</b>	Caldera Grande, Yesera Sud.



De acuerdo a la tabla se presentan las comunidades afectadas a este modelo optimista I (Temperatura +1 °C y precipitación +25 %), lo cual se presenta 3 clases de riesgo y su balance promedio (déficit moderado -50 mm), (ver tabla 21), (exceso moderado 150 mm), (ver tabla 22), (exceso alto 400 mm), (ver tabla 23).

#### 5.6.4. Balance hídrico modelos optimista 2.

Tomando en cuenta que a futuro se determina que la temperatura subirá un grado y a medida de eso le ascendemos un 50%, de acuerdo a Herbert Sturges, se determina las comunidades afectadas:

**Tabla 32. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo:  
(Modelo Optimista II).**

<b>CLASES DE RIESGO</b>	<b>RANGO (1, 2, 3 y 4)</b>		<b>COMUNIDADES</b>
<b>Déficit Moderado</b>	<b>-316,35</b>	<b>10,89</b>	Yesera San Sebastián.
<b>Exceso Moderado</b>	<b>10,89</b>	<b>337,89</b>	Yesera Norte, Chiguaypolla.
<b>Exceso Alto</b>	<b>337,89</b>	<b>665,4</b>	Yesera Centro, Caldera Grande, Yesera Sud.

De acuerdo a la tabla se presentan las comunidades afectadas a este modelo optimista I (Temperatura +1 °C y precipitación +50 %), lo cual se presentan 3 clases de riesgo junto a ellas su balance promedio (déficit moderado -30 mm), (ver tabla 25), (exceso moderado 20 mm), (ver tabla 26), (exceso alto 665 mm), (ver tabla 27).

## CAPITULO VI

### VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los objetivos plateados a continuación se muestran las recomendaciones de los resultados obtenidos:

#### 6.1. CONCLUSIONES

- De acuerdo al objetivo se obtiene que el balance hídrico actual de la cuenca pedagógica de Yesera presenta 4 números de clases de riesgo según Herbert Sturges (Tabla 8), lo cual sería:

-Déficit Alto.

-Déficit Moderado.

-Exceso Moderado.

-Exceso Alto.

Al observar que este modelo actual con los datos actuales de la cuenca podemos determinar que en la parte alta de la cuenca más que todo en la zona norte se verá afectado con un déficit o balance medio de (-320 mm) según los resultados (ver tabla 9), y las demás partes como: la parte media y baja de la cuenca se verán afectados lo cual presenta un déficit balance medio de (-90 mm) según los datos en los resultados (ver tabla 10) y en la parte baja presenta un incremento o balance medio de (20 mm) y en ciertas partes hasta el punto de salir beneficiado con un incremento o balance medio de (360 mm) según los resultados (ver tabla 11, 12).

- De acuerdo a los modelos propuestos en los pesimistas se obtienen lo siguiente:  
**Pesimista I.-** Para este modelo se determina 3 zonas de riesgo según los resultados que se aprecia (ver tabla 13):

-Déficit Alto.

-Déficit Moderado.

-Exceso Moderado.

De acuerdo a este modelo se obtiene que la parte alta de la cuenca presenta un déficit o balance medio de (-400 mm), (ver tabla 14), y de acuerdo a la parte

media presento un déficit o balance medio de (-150 mm), (ver tabla 15) y de acuerdo a la parte baja presento un balance medio de (50 mm), (ver tabla, 16).

**Pesimista II.-** Para este modelo se determinaron 3 zonas de riesgo según los resultados que se obtuvieron (ver tabla 17):

-Déficit Alto.

-Déficit Moderado.

En este modelo podemos determinar que la parte alta y media de la cuenca se presenta un déficit o balance medio de (-643 mm), (ver tabla 18), y en la parte baja presentara un déficit o balance medio de (-200 mm), según los resultados (ver tabla 19).

De acuerdo a los modelos propuestos como los optimistas se obtiene:

**Optimista I.-** En este modelo se determinó 3 zonas de riesgo según los resultados obtenidos (ver tabla 20):

-Déficit Moderado.

-Exceso Moderado.

-Exceso Alto.

De acuerdo a este modelo la parte alta se presenta un déficit o balance medio de (-50 mm), (ver tabla 21), en la parte media se presenta un incremento o balance medio de (150 mm), (ver tabla 22), y en la parte baja de la cuenca presenta un incremento o balance medio de (400 mm), (ver tabla 23).

**Optimista II.-** En este modelo igual se proporciona 3 zonas de riesgo según los resultados obtenidos (ver tabla 24):

-Déficit Moderado.

-Exceso Moderado.

-Exceso Alto.

En este modelo la parte alta presenta un déficit o balance medio de (-30 mm), (ver tabla 25), en la parte media presenta un incremento o balance medio de (200 mm), (ver tabla 26), y en la parte baja presenta un incremento o balance medio de (665 mm), (ver tabla 27).

- De acuerdo a los modelos obtenidos podemos determinar las comunidades afectadas son:
  - Yesera San Sebastián sería un de las comunidades más afectadas ya que solo tendría pérdidas hídricas (-320 mm, -400 mm, -643 mm, -50 mm, -30).
  - Yesera Norte, Yesera Centro y Chiguaypolla serían comunidades menos afectadas ya que los balances serian van desde (-150 mm), hasta (-30 mm).
  - Caldera Grande y Yesera Sud serían las comunidades más beneficiadas la cual tendrían incrementos desde (360 mm), hasta (665 mm).

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Pensando a futuro vemos que el cambio climático en el departamento y en todo el mundo traerá serios cambios en las variables climáticas estos métodos de balance hídrico serán útiles en las demás cuencas ya que ahí podemos determinar diferentes zonas de riesgo y realizar acciones oportunas para la misma para evitar desastres y demás.
- Por lo cual tomar medidas de adaptación de inmediato resultará muy importante para enfrentar los retos del futuro, tanto políticas (planes, propuestas que proporcionen un buen balance hídrico), lo cual sería beneficioso para el proyecto que se está realizando en la cuenca pedagógica de Yesera y para las demás cuencas de la ciudad de Tarija.
- Se recomienda usar la herramienta WORLDCLIM ya que esta proporciona datos de 50 años y es mucho más accesible para todos en general de fácil acceso y descarga, esto sería para las zonas donde no se cuentan con estaciones climáticas disponibles.
- Señalar que la metodología establecida ayudará a fortalecer a la base de datos del proyecto de la cuenca pedagógica de Yesera y lo cual sería una herramienta útil para determinar zonas de riesgo en las diferentes cuencas de la ciudad de Tarija, etc.