

INTRODUCCIÓN.

La cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural con uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente, los que confluyen en un curso mayor, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas (lago), en un pantano o bien directamente en el mar. (Franquet et al., 1995).

Los límites de la cuenca o divisoria de aguas se definen naturalmente y en forma práctica corresponden a las partes más altas del área que encierra un río. Dentro de una cuenca se pueden distinguir: la parte alta, la parte media y la parte baja. En las partes altas, la topografía normalmente es empinada y generalmente están cubiertas de bosque, tanto en la parte alta como en la parte media se encuentran la gran mayoría de las nacientes de los ríos; las partes bajas, a menudo tienen más importancia para la agricultura y los asentamientos humanos, porque ahí se encuentran las áreas más planas.

Después de muchos años y numerosas conferencias internacionales, las cuencas hidrográficas siguen siendo consideradas como la unidad del territorio fundamental para la planeación y el manejo de los recursos naturales. Sin embargo, uno de los principales problemas a los cuales se enfrentan científicos y tomadores de decisión es a la ausencia de una delimitación de cuencas consensuada al interior de un país (Barrow et al., 1998).

El proceso de caracterización de las propiedades morfométricas de la red de drenaje, es el primer paso en la búsqueda de las relaciones entre estos y las condiciones climáticas, geológicas e hidrológicas que determinan la evolución de la cuenca (Navarrete, 2004).

El uso de sistemas de información geográfica (SIG) y el empleo de modelos digitales de elevación (MDE) para el reconocimiento de rasgos morfológicos ha sido importante en los últimos 15 años, los cuales se han orientado a la caracterización medioambiental del terreno derivando redes de drenaje de una zona y surgiendo como una alternativa importante para manejar, planear y evaluar los recursos naturales de una cuenca por lo

que es posible analizar y simular diversos procesos que ayuden a interpretar el origen y la dinámica de espacios naturales con una precisión razonable a bajo costo y tiempo de operación, para el análisis de la información. (González, 2004).

JUSTIFICACIÓN.

El presente perfil de tesis en primer lugar se considera importante ya que está sub cuenca se encuentra en cercanía a la ciudad, por la cual esta mayormente afectada por el hombre debido a los asentamientos ilegales a causa de la ausencia de una planificación del ordenamiento por parte de las autoridades competentes. Por lo tanto al no existir la planificación la sub cuenca se encuentra susceptible a causar daños ecológicos, económicos y sociales.

En segundo lugar, porque aporta conocimiento para desarrollar proyectos de preservación y conservación de la misma, lo que contribuirá al desarrollo de la población en su conjunto ya que el comportamiento de la red hidrológica, puede verse modificado por las propiedades morfométricas de las cuencas (forma, pendiente y red hidrológica) que tienen que ver con la respuesta del caudal recibido y que pueden operar tanto para disminuir o intensificar las crecidas ya que éstas, actúan incrementando el volumen del flujo y la velocidad de su movimiento que son determinantes para evitar desastres en caso de fuertes lluvias .

Al analizar sobre estos aspectos, el presente estudio propone una metodología para determinar la caracterización morfométricos y fisiográfico de la subcuenca de San Pedro.

Objetivos.

Objetivo general.

Caracterizar morfométrica y ambientalmente la subcuenca de San Pedro, mediante el análisis de parámetros morfométricos, el uso de herramienta SIG y

la zonificación temática biofísica con el propósito de identificar áreas críticas y proponer para su restauración y ordenamiento territorial en zonas de alto riesgo

Objetivos específicos.

- Caracterización morfométrica de la Subcuenca de San Pedro, a través de los Parámetros Morfométricos.
- Identificar el estado actual de la sub cuenca, zonificando el uso de la tierra que presenta la quebrada de San Pedro con la finalidad de proponer obras de restauración y conservación.

CAPÍTULO I
MARCO TEORICO

MARCO TEORICO

1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

1.1. Definición de cuenca hidrográfica.

Se denomina cuenca o vertiente una zona de la superficie terrestre de la cual el agua procedente de la precipitación caída sobre ella se dirige hacia un mismo punto de salida.

Es un territorio en el que las aguas escurren a través de una red de cauces y confluyen en un mismo punto (lago, corriente, acuífero), formando una unidad autónoma o diferenciada de otras. Es una zona conformada como una unidad, física, natural, básica de la regulación del agua, donde la lluvia es captada y desalojada o depositada en un almacenamiento natural por un sistema de drenaje definido por la topografía, que inicia en la parte alta. En ella es posible articular procesos de gestión que permiten alcanzar el desarrollo sustentable.

La cuenca es una zona delimitada topográficamente que desagua mediante un sistema fluvial, en el cual, la superficie total de tierras vierte sus aguas en un punto de una corriente o río. Constituye una unidad hidrológica que se describe como unidad físico-biológica y como unidad socio-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales.

1.1.2. Importancia de la cuenca hidrográfica.

Cuenca es el espacio natural donde los procesos de erosión hídrica actúan de forma natural y donde el hombre o las comunidades interactúan con ellos, generándose distintos tipos de conflictos por el uso de los recursos naturales. Por lo tanto consideramos la cuenca como el lugar ideal para articular planes de ordenamiento y manejo de los recursos naturales en función de obtener una producción sostenida de alimentos y de la vida como tal. (Faustino, 1996).

1.1.3. División espacial de una cuenca hidrográfica.

- **Subcuenca:** Una subcuenca es toda área en la que su drenaje va a directamente al río principal de la cuenca. También se puede definir como una subdivisión de la cuenca. Es decir que en una cuenca puede haber varias subcuencas.
- **Microcuenca:** Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; o sea que una subcuenca está dividida en varias microcuencas.

Las microcuencas son unidades pequeñas y a su vez son áreas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas. También las microcuencas constituyen las unidades adecuadas para la planificación de acciones para su manejo.

1.1.4 Zonas y partes de una cuenca hidrográfica.

Las partes constitutivas de una cuenca, de acuerdo con sus funciones hidrológicas son las siguientes:

1.1.4.1. Parte alta o zona de recarga.

Es la zona de recarga de agua que se extiende desde el nacimiento de los manantiales hasta el punto más alto de la montaña o cerros. En esos cerros se encuentra el filo o cresta que parte el agua de lluvia a escurrir de una y otra cuenca o línea divisoria entre cuencas (esto es llamado parte agua). Es la parte más importante para la producción de agua, siempre que exista una buena o abundante vegetación, que ayude a aumentar la capacidad de almacenar agua.

1.1.4.2. Parte media o zona de laderas.

Se extiende desde las vertientes, hasta los lugares donde se toma agua o el inicio del valle. Esta zona es la que se llaman laderas o faldas de los cerros y donde, pastorean al ganado y se hace agricultura de alto riesgo por lo vulnerable de los suelos a ser erosionados.

1.1.4.3. Zona de riberas o ribereña.

Se localiza en la zona de amortiguamiento, pero únicamente comprende el área de ambos lados de las quebradas o riachuelos. Son áreas que se tienen que proteger con vegetación, porque de lo contrario secan las corrientes de agua o se secan los manantiales.

1.1.4.4. Zona baja tierra plana (valle).

Es el lugar en donde se localizan asentamientos humanos o comunidades y diferentes obras físicas de comunicación y conducción de agua, incluyendo una agricultura o ganadería de mayor intensidad de uso. Si las tierras altas son mal manejadas, frecuentemente se pueden encontrar problemas de drenaje, inundaciones o saturación de agua, por tanto, requiere de manejos apropiados.

1.2. La tierra y los recursos de la tierra.

Según FAO/UNEP, 1997 , se refieren a un área definible de la superficie terrestre de la tierra, abarcando todos los atributos de la biosfera inmediatamente por arriba y por debajo de esa superficie, incluyendo aquellos atributos climáticos cercanos a la superficie, el suelo y las formas del terreno, la superficie hidrológica -incluyendo lagos poco profundos, ríos, humedales y pantanos -, las capas sedimentarias cercanas a la superficie y el agua subterránea asociada y las reservas geo-hidrológicas, las poblaciones animales y vegetales, los modelos de asentamientos humanos y los resultados físicos de la actividad humana pasada y presente.

Los recursos tierra son lentamente renovables; sin embargo, su tasa de degradación excede su tasa natural de regeneración. En términos prácticos, esto significa que la tierra que se pierde por degradación no es naturalmente reemplazada dentro del lapso de una vida humana, dando lugar así a una pérdida de oportunidades para las siguientes generaciones (FAO/UNEP,2000).

1.2.1. El manejo de los recursos tierra.

El mejoramiento del manejo de la tierra que asegura un mejor uso de los recursos y promueve la sostenibilidad a largo plazo es fundamental para el futuro de la producción de alimentos y para el bienestar económico de las comunidades rurales. A causa de los aspectos dinámicos del manejo de la tierra, es esencial tener un enfoque flexible y adaptable a este "proceso" para supervisar la calidad y la cantidad de los recursos de la tierra del mundo, tales como suelo, agua, nutrimentos de las plantas- y para determinar las actividades humanas afectan esos recursos. Sin embargo, la evaluación sistemática de la sostenibilidad de los planes de uso de la tierra, actuales o futuros, pueden ser entorpecidos por demasiados datos detallados difíciles de interpretar, por falta de información básica con la cual comparar el cambio o por datos que son inconsistentes en el tiempo o en el área geográfica (USDA, 1994).

1.3. Cobertura vegetal.

A la cobertura vegetal se la puede definir como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos (Bennett, 1999).

En la cuenca se encuentran diversos tipos de vegetación, definidos en cierto grado por parámetros físico ambientales, biológicos y edáficos. Los valores de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial, entre otros parámetros, se usan para delimitar los diferentes tipos de bosque (Holdridge, 1979).

1.3.1. Cambios en la cobertura vegetal.

Según Heckadon, 1999, los cambios a la cobertura vegetal es un componente importante en el estudio de cambio ambiental global. La naturaleza dinámica de patrones de cobertura vegetal/uso suelo y sus cambios es un fenómeno que afecta muchos procesos ecológicos y biofísicos, tales como la estructura trófica, la

composición de las especies y su dispersión, los patrones climáticas, y la estabilidad hídrica. Además, en regiones tropicales, los cambios de cobertura vegetal (específicamente la deforestación) es uno de las amenazas más graves a la biodiversidad.

Al considerar la acción humana dentro de la cuenca, se encuentra que la remoción de cobertura vegetal, entre otros parámetros (ausencia de controles de aguas servidas y de programas de manejos de los suelos), constituye una variable relacionada con las peores condiciones socio ambientales en aquellos sectores donde se presenta un aumento descontrolado de la población e infraestructuras (Heckadon, 1999).

1.3.2. Importancia de la cobertura vegetal.

Las coberturas vegetales son un elemento esencial en el gran sistema que llamamos tierra, las plantas absorben y reciclan nutrientes, dióxido de carbono, nitrógeno, azufres y fósforos que están en la atmósfera, absorben agua de los suelos y a su vez, son parte del fundamento básico de la cadena alimenticia que sustenta la vida y proveen al hombre de materiales industriales, plantas medicinales, fibras y resinas.

En el caso específico de los bosques, éstos juegan un papel importante en la conservación del ambiente, ya que mantienen la estabilidad hídrica, regulan el clima a nivel mundial y local, y lo más importante favorecen la conservación de los suelos previniendo la erosión, además son el hábitat de numerosas especies de plantas y

animales (Bennett, 1999).

Es de vital importancia mantener en buen estado la cobertura vegetal ya que ayudan en los procesos de regulación del ciclo hidrológico y en la disminución de la erosión de suelos.

Las cubiertas vegetales pueden resultar de utilidad en la reducción de la dispersión de contaminantes en disolución, pues disminuyen el flujo total de escorrentía.

1.4. La cobertura vegetal en los procesos de erosión.

1.4.1. Prevención de la erosión: la cobertura vegetal.

Según Morgan (1997), la prevención de la erosión del suelo, entendida como la reducción de la tasa de pérdida de suelo hasta la que, aproximadamente, se produciría en condiciones naturales, se apoya en estrategias seleccionadas para la conservación del suelo y éstas, a su vez, en un conocimiento profundo de los procesos erosivos. Los factores que determinan la tasa de erosión son la lluvia, la escorrentía, el viento, el suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y la presencia o ausencia de medidas de conservación. Estos y otros factores relacionados con ellos, se pueden considerar bajo tres aspectos: energía, resistencia y protección.

1. El aspecto energético incluye la capacidad potencial de la lluvia, la escorrentía y el viento para provocar la erosión. Esta capacidad se denomina erosividad.

También están incluidos otros factores que afectan directamente a la potencia de los agentes erosivos, como son la longitud y la pendiente recorrida por la escorrentía o el recorrido del viento.

2. El aspecto de la resistencia es función del factor de erodibilidad del suelo que depende, sobre todo, de sus propiedades mecánicas y químicas. Los factores que favorecen la infiltración del agua en el suelo y, por tanto, disminuyen la escorrentía, reducen la erosionabilidad, mientras que cualquier actividad que pulverice el suelo, la aumenta.

3. El aspecto de protección se centra en los factores relacionados con la cobertura vegetal. Ésta puede proteger el suelo de la erosión al interceptar la lluvia y reducir la velocidad de la escorrentía y del viento. Diferentes cubiertas vegetales consiguen distintos grados de protección y, en consecuencia, las actuaciones humanas mediante determinados usos del suelo pueden controlar considerablemente la tasa de erosión.

1.4.2. Efectos de la cobertura vegetal en la erosión.

La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de modo que su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo, mientras que los componentes subterráneos, como los sistemas radicales, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 1997).

Dicho de otra manera, según Roldán (2005), la vegetación es el elemento natural de protección del suelo contra la erosión. La vegetación juega un papel muy importante en el proceso de erosión hídrica controlando la energía con la que inciden las gotas de lluvia (impacto); mejorando la capacidad de infiltración y por tanto disminuyendo la escorrentía; influyendo en la circulación de la escorrentía, disminuyendo su velocidad, aumentando la rugosidad del suelo y reduciendo la capacidad erosiva del flujo. En conjunto, disminuye la capacidad erosiva de la lluvia y protege al suelo contra la erosión.

1.5. Uso del suelo.

El término uso del suelo se aplica a los diferentes tipos de cobertura que el hombre crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales. Las características del uso del suelo son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales o humanos. En el transcurso de la historia, el suelo ligado a la productividad agropecuaria, además del cambio de cobertura del suelo, se han constituido en factores importantes para el crecimiento y desarrollo de todas las culturas.

En el transcurso de la historia, el suelo ligado a la productividad agropecuaria, además del cambio de cobertura del suelo, se han constituido en factores importantes para el crecimiento y desarrollo de todas las culturas. En los últimos años, ha resurgido la importancia verdadera y real que tiene la conservación de los recursos naturales, y

como componente de éstos el recurso suelo como fuente de producción de alimento para la humanidad.

El crecimiento demográfico, la demanda, la expansión y la sobre-explotación del uso de las tierras con fines agrícolas están provocando una serie de trastornos al ecosistema, debido a que éstas actividades producen un cambio en la cobertura del suelo (FAO, 1991).

Estos cambios en la cobertura y uso de la tierra se estudian por medio de análisis multitemporales generando información valiosa y útil en la planificación de un desarrollo sostenible en zonas de interés (FAO, 1991).

1.5.1. Conversión en el uso del suelo.

El estudio de la cobertura y uso del suelo supone analizar y clasificar los diferentes tipos de cobertura y usos asociados, que el hombre practica en una zona o región determinada. Su importancia radica en que, a escala global, regional y local, cambios en el uso del suelo están transformando la cobertura a un paso acelerado. El ejemplo más difundido sobre el cambio en el uso del suelo es la deforestación tropical. Se ha estimado que la conversión en la cobertura forestal tropical ha alcanzado un promedio de 15.5 millones de hectáreas por año para el periodo de 1981-1990, lo cual se traduce en una tasa anual de deforestación del 8% (FAO, 1995).

1.5.2. Capacidad de uso del suelo.

Las características del suelo que le generan restricciones para el desarrollo de actividades agropecuarias o forestales son necesarias para la reglamentación de su capacidad o vocación de uso, que es considerada como el uso más apropiado que la tierra sería capaz de resistir, razón por la cual llega a ser el uso permitido. La vocación de uso del suelo también puede referirse al máximo uso que se le puede dar a la tierra sin que el suelo y el agua sufran deterioro, para lo cual debe tenerse en cuenta la reglamentación sobre el uso rural del suelo. Pero la capacidad de uso del suelo no debe depender únicamente del recurso suelo, sino adicionalmente del recurso

hídrico y de las costumbres humanas que al final determinan la existencia de una necesidad de uso.

1.5.3. Uso actual de la tierra.

Se refiere a la actividad humana presente al momento de hacer la observación y/o a la descripción de sus características en una época determinada sin tomar en consideración su potencial o uso futuro.

1.6. Degradación del suelo.

La degradación del suelo ha sido definida de muchas maneras, más a menudo referida a la función (agro) productiva del suelo. De una manera general la degradación del suelo pudiera ser descrita como el deterioro de la calidad del suelo. La degradación del suelo se define como una pérdida de su productividad utilidad actual o potencial, que implica el desmejoramiento del suelo en su capacidad inherente para producir bienes y servicios y para realizar sus funciones de regulación ambiental.

1.6.1. Erosión de suelos.

Cantidad de suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia o por el viento, que tiene como objetivo conformar la superficie terrestre; y este proceso ha existido desde que la tierra fue formada (Kirkby y Morgan, 1984).

1.6.1.1. Procesos de erosión.

La erosión del suelo es un proceso que consta de dos fases, independientemente del agente que lo efectúa (agua y/o viento): el desprendimiento de las partículas individuales de la masa del suelo y su transporte por agentes erosivos (agua de escurrimiento y/o el viento). Cuando la magnitud de la energía no es suficiente para transportar las partículas ocurre una tercera fase llamada deposición (Kirkby y Morgan, 1984).

1.6.1.2. Formas de erosión.

La erosión hídrica, tal vez, es la forma más importante de erosión. Es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y al fluir sobre la superficie de los terrenos en forma de escurrimiento superficial. Si no hubiera escurrimiento superficial no habría erosión en zonas de baja precipitación. Existen cuatro formas principales de erosión hídrica:

1. **Erosión por salpicadura:** Es el desprendimiento y dispersión de las partículas del suelo por las gotas de lluvia (Kirkby & Morgan, 1984).
2. **Erosión laminar:** Es la remoción más o menos uniforme de una capa o lámina delgada de suelo de una superficie determinada de un terreno (FAO, 1967).
3. **Erosión en surco:** Es el desprendimiento y transporte de las partículas de suelo ocasionada por el flujo de agua con sedimentos en las depresiones de la tierra con dirección de la pendiente (FAO, 1967).
4. **Erosión en cárcavas:** Es un incremento en las dimensiones del surco con el movimiento de las corrientes que arrastran los lechos de los surcos y desmoronan sus paredes o taludes. Las cárcavas dividen el terreno haciendo imposible su utilización para la agricultura (FAO, 1967).

1.6.1.3. Grado de erosión.

La erosión causada por el agua puede dividirse en tres clases: la primera, la más dañina, es la erosión superficial o laminar que apenas se nota, ya que lo que se pierde es una capa pareja (o similar) a lo largo y ancho de todo el predio. En la segunda clase, predomina la erosión por surcos, que puede notarse fácilmente, en ésta los chorros de agua corren cuesta abajo formando pequeños surcos y arrastrando algunos centímetros de tierra. Muchas veces lo que hace el agricultor es eliminar esos surcos mediante el uso del arado o del rastrillo. Como él no toma las medidas necesarias para controlar la erosión, cuando vuelven las lluvias fuertes aparecen de nuevo los arrastres. Año tras año el suelo se empobrece y su producción cada vez es más baja y de peor calidad. La

tercera clase está dominada por la erosión en zanjones y cárcavas: donde los chorros de agua corriendo cuesta abajo se unen en las hondonadas del terreno hasta formar grandes corrientes, éstas arrastran grandes cantidades de tierra y forman zanjones. Finalmente, si no se toman las medidas necesarias a tiempo, el predio quedará inútil.

El grado de erosión se conoce midiendo la capa superficial que queda en un predio. En la calificación de suelos, el grado de erosión se divide en los siguientes grupos:

Ninguna o muy poca erosión: Los suelos de este grupo muestra muy poca o ninguna erosión. La capa que corta el arado o el suelo que cultiva el agricultor está en el horizonte superficial (A). Se ha perdido menos del 25% de la capa superficial. Las funciones bióticas originales se encuentran intactas.

Erosión moderada: En este grupo los suelos muestran pérdidas hasta el punto que el arado corriente corta parte del subsuelo y lo mezcla con suelo del horizonte A. Se ha perdido del 25 al 75% de la capa superficial. M Moderado. Las funciones bióticas originales se encuentran parcialmente destruidas

Erosión severa: En los suelos de este grupo la pérdida del suelo ha llegado hasta el punto que casi todo el horizonte A ha desaparecido. La capa que corta el arado es prácticamente el subsuelo y se ha perdido más del 75% de la capa superficial. Las funciones bióticas originales ampliamente destruidas.

1.7. Riesgo de erosión actual y erosión potencial.

Se define como riesgo de erosión actual, a la pérdida de suelo posible con presencia de la cobertura vegetal actual, sin prácticas de conservación de suelos.

Se define erosión potencial, como la susceptibilidad a la erosión, es la erosión que se prevé va a tener lugar en el futuro en una determinada zona. En este caso interesa la medida de lo que “puede ocurrir o va a ocurrir”, no de lo que existe. La medida de lo que va a ocurrir hay que hacerlo a través de factores o elementos del medio que se conocen y cuyos datos pueden ayudar a predecir el fenómeno. Esta es la diferencia fundamental con la anterior definición, normalmente el estudio de la erosión se hace a

través del máximo de variables que van a condicionar el proceso erosivo. La erosión potencial máxima considera solo la interacción de los factores de la tierra: suelo, clima y topografía.

1.8. Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo.

La conversión humana de los hábitats naturales es la causa más grande de pérdida de diversidad biológica, funciones ecológicas, así como de alteraciones del ciclo hidrológico.

Una forma de conocer el proceso de crecimiento que ha desarrollado un asentamiento urbano, es realizar un estudio de los cambios que ha sufrido el paisaje con el paso del tiempo.

El paisaje, desde el punto de vista científico, se encuentra definido como un sistema territorial integrado por componentes naturales abióticos y bióticos (roca, relieve, clima, agua, suelo, flora y fauna), formados bajo la influencia de los procesos naturales y de la actividad modificadora del hombre, que se encuentran en permanente interacción y que se desarrolla históricamente; es decir, es un sistema de interacciones (Vargas Gámez, 1992).

La cobertura es todo aquello que cubre la superficie del suelo, puede originarse de ambientes naturales como resultado de la evolución ecológica (bosques, sabanas, lagunas, etc.), o a partir de ambientes artificiales creados y mantenidos por el hombre (cultivos, represas, ciudades, etc.) (Vargas Gámez, 1992).

El término uso del suelo se aplica a los diferentes tipos de cobertura que el hombre crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales. Las características del uso del suelo son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales o humanos (Vargas Gámez, 1992).

La mayor parte de los cambios ocurridos en ecosistemas terrestres se deben a: 1) conversión de la cobertura del suelo, 2) degradación del suelo e, 3) intensificación en el uso del suelo (Lambin, 1997).

El estudio de la cobertura y uso del terreno supone analizar y clasificar los diferentes tipos de cobertura y usos asociados, que el hombre practica en una zona o región determinada.

1.9. Corine Land Cover (CLC).

Corine land cover (CLC) es una base de datos geográfica de cobertura y uso de la tierra que abarca la mayoría de los países de la comunidad europea (excepto Suecia y Finlandia en los cuales se finalizará el inventario el 2002) y la mayoría de los países del centro y este de Europa (EEA & ETC, 1999).

El componente “LandCover” del programa Corine (Coordination of Information on the Environment) tiene como objeto recoger información relacionada con medio ambiente priorizando los tópicos para la comunidad europea (otros programas son: Corine Air, Corine Coastal Erosion, Corine Biotopes, etc.) (EEA & ETC, 1999).

Propuesto en 1985 por la comisión Europea, CLC fue iniciado para satisfacer la necesidad de información precisa y de fácil acceso sobre la cobertura del suelo en Europa. Una actualización de la base de datos CLC ha sido lanzada en enero del 2000 (Steenmans y Pinborg, 2000).

El primer nivel (5 clases) corresponde a las categorías más comunes en cobertura y uso de las tierras (áreas artificiales, áreas agrícolas, bosques y áreas seminaturales, pantanos, superficies de agua). El segundo nivel (15 clases) cubre entidades físicas y fisonómicas en un alto nivel de detalle (zonas urbanas, bosques, lagos, etc.) y es usado para escalas de 1:500000 y 1:1000000, finalmente el nivel 3 está compuesto de 44 clases y es utilizado para trabajos con escalas de 1:100000 o mayores (CEC, 1993).

1.10 Análisis de imagen.

El reconocimiento remoto requiere un procesamiento previo de las imágenes satelitales.

Tal trabajo con frecuencia incluye georeferenciación de imágenes y corrección radiométrica para explicar las distorsiones atmosféricas. No obstante, muchos proveedores de teledetección entregan imágenes satelitales que ya han sido previamente procesadas.

En general, para interpretar las imágenes de teledetección se encuentran disponibles tres métodos: (1) interpretación visual, (2) procesamiento digital de imágenes basado en píxeles, y (3) segmentación de imagen. La selección del método de interpretación puede depender de las capacidades nacionales en recursos humanos, de los costos relativos de los diferentes métodos y de las características y el tamaño de la unidad de superficie.

1. Interpretación visual. Los analistas trazan polígonos alrededor de las diferencias visibles en las imágenes satelitales en la pantalla de sus ordenadores.

Los polígonos se relacionan con una clase de leyenda de la cobertura terrestre. Una ventaja de este método es la posibilidad de actualizar las imágenes recientes utilizando el mapa base desde una fecha inicial. Una desventaja la constituye el hecho de que este método es más subjetivo que otros, y depende del criterio del analista. Adicionalmente, para países grandes la interpretación visual puede no ser práctica y requerir demasiado tiempo.

2. Procesamiento digital de imágenes a nivel de píxeles. Los algoritmos informáticos se utilizan para realizar clasificaciones no supervisadas y supervisadas. En el pasado, la mayor parte del procesamiento de imágenes digitales se realizó a nivel de píxeles. Cada píxel es considerado una unidad de suelo y se agrega a grupo de píxeles similares. El agrupamiento puede basarse únicamente en el número digital del píxel; dicho método ha sido denominado “clasificación no supervisada”. Sin embargo, con la clasificación supervisada, un analista asigna píxeles que representan una cobertura terrestre, a una clase en la leyenda. Este segundo método depende del conocimiento que tenga el analista de la unidad de superficie de estudio. En comparación con la

interpretación visual, el procesamiento de imágenes digitales es más objetivo, porque depende de algoritmos informáticos para asignar píxeles a clases de suelo.

3. Segmentación de imágenes. El software reciente de teledetección incluye métodos de segmentación de imágenes para clasificar la cobertura terrestre y los usos del suelo. Un algoritmo reúne grupos de píxeles sobre la base de sus respuestas espectrales y a un conjunto de reglas establecidas por el analista. Una ventaja de este enfoque es el costo relativamente bajo en áreas extensas. No obstante, la vinculación cuidadosa de la cobertura terrestre con la información de verificación de campo sobre el uso del suelo es necesaria a fin de evitar errores a gran escala.

Luego de seleccionar un método de interpretación de imágenes, puede realizarse un análisis y se pueden producir mapas digitales. El paso siguiente será la validación de los resultados. Los analistas deberán revisar y mejorar los procesos y los resultados de interpretación de imágenes, según el resultado del análisis de verificación y validación. En términos generales, para los usos de tierras tropicales, se requiere un alto nivel de opinión de expertos y de conocimiento del terreno.

1.11. Teledetección y sensores remotos.

La teledetección es aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación remota es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción (Chuvienco, 2002) y el resultado usualmente, pero no necesariamente, es almacenado como una imagen (fuente de datos). Para esto se requiere al menos, tres componentes: foco energético, superficie terrestre y sensor (Bakker; Jansen, 2001).

Una de las formas de clasificarlos es el procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas y ellos son: (1) Pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y (2) Activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía (Chuvienco, 2002).

1.11.1 Usos de la tecnología de los sensores remotos en los estudios del territorio.

Las siguientes aplicaciones de los sensores remotos en diferentes campos de investigación:

- Evaluación y monitoreo ambiental (crecimiento urbano y residuos peligrosos).
- Cambio global y monitoreo del cambio climático (destrucción de la capa de ozono, deforestación, calentamiento global).
- Agricultura (condición o estado del cultivo, predicción de la producción, erosión del suelo).
- Exploración de recursos naturales no renovables (minerales, combustibles, gas natural).
- Recursos naturales renovables (humedales, suelos, bosques, océanos).
- Meteorología (dinámicas de la atmósfera, predicción del clima).
- Mapeo (topografía, uso del suelo, ingeniería civil).
- Estrategia militar (política estratégica, evaluación táctica).
- Difusión de noticias (ilustración, análisis).

En la clasificación del territorio, los sensores remotos vinculados a los SIG han arrojado excelentes resultados. Por ejemplo el empleo de las imágenes satelitales como las obtenidas con los sensores Landsat, para la determinación de superficies de cultivos de un cierto tipo, se ha convertido en una técnica que avanza rápidamente mostrando ser de gran utilidad en la identificación y cuantificación de la biomasa y la productividad de diferentes cultivos a nivel mundial.

1.12. La fotointerpretación.

La fotointerpretación es el análisis monoscópico o estereoscópico de fotografías aéreas; más que una ciencia, puede ser considerada como la técnica o arte de examinar la imagen fotográfica del suelo (u otros elementos) con el propósito de identificar los distintos componentes del paisaje y suministrar información de interés a las diversas ramas del conocimiento humano. Las técnicas empleadas para la obtención de esta

información pueden ser clasificadas en tres categorías: 1) foto lectura, 2) foto análisis y, 3) fotointerpretación.

Las tres técnicas son a menudo utilizadas bajo el término de fotointerpretación, sin embargo, existen diferencias entre el tipo de información y el tipo de estudio que se hace de cada una de ellas.

Las técnicas de foto lectura se refieren al reconocimiento e identificación de objeto (edificios, caminos, límites de predios, vegetación, etc.) y su posición relativa. Se utiliza la fotografía aérea como un mapa base detallado y toda la información se obtiene por la lectura directa de las fotos. En este caso es muy importante la experiencia y conocimiento de la persona que realice la foto lectura.

Las fotografías aéreas en blanco y negro representan el suelo en diferentes tonalidades de gris, desde un punto de vista que no es común a las personas y a una escala generalmente reducida. Cuando se realiza la delimitación de unidades de cobertura y de relieve (geofomas) para cada tiempo, es necesario considerar una serie de criterios que ayudan al fotointérprete a reconocer los elementos a identificar (tamaño, forma, tono y color, textura y patrón, en cada una de las fotografías aéreas.

1.13. Escáneres multiespectrales.

Los escáneres multiespectrales miden a través del escaneo la energía electromagnética reflejada por la superficie de la tierra. Esto resulta en una imagen digital (datos) y su unidad relacionadas principalmente en el mapeo de la cobertura de la tierra, vegetación, mineralogía superficial y agua superficial.

1.14. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Tradicionalmente la utilización de Sensores Remotos en el área ambiental ha sido para la generación de mapas temáticos. Los cuales por lo general representan la fase final de un proyecto, ya que la cartografía obtenida a partir de sensores remotos representa variables que se incorporan a un SIG.

Por tanto podemos definir a un Sistema de Información Geográfica (SIG), como un sistema computarizado que facilita las fases de entrada de datos, análisis de datos espaciales y presentación de datos, especialmente en casos cuando trabajamos con datos georeferenciados. Además, permiten almacenar esa información espacial de forma eficiente, simplificando su actualización y acceso directo al usuario.

1.14.1. SIG y geografía.

El carácter interdisciplinar de los Sistemas de Información Geográfica es destacado por muchos autores (Gutiérrez Puebla, 1994). Son innumerables las ciencias y disciplinas que aportan elementos a la construcción de un SIG o que necesitan de la información y los resultados que del uso de él se pueden obtener. Parece una obviedad afirmar que todas aquellas disciplinas que precisan expresar propiedades relacionadas con el espacio acaban usando herramientas cartográficas.

Delimitar el contenido, naturaleza y ámbito científico de los SIG es una tarea problemática. Ello se debe, en parte, a que la formación de los SIG procede de diferentes disciplinas científicas: geografía, ciencias ambientales, biología, economía, informática, ingeniería y otras, y también a la limitada aportación sobre la naturaleza de los SIG desde su propio ámbito. Unas veces la expresión "Sistemas de Información Geográfica" se utiliza en plural, para referirse, genéricamente, a todos los sistemas, otras veces se usa en singular para calificar a una aplicación concreta (un SIG para la gestión del agua, de los recursos naturales, etc.).

Pero si existe una disciplina que tenga una intensa y fructífera relación, tanto en el momento de su construcción como en el de su utilización posterior, ésta es sin duda la ciencia geográfica. Hay que añadir que su implicación con los SIG va más allá del préstamo del adjetivo 'geográfica'. Algunos autores han llegado a afirmar que los SIG están ligados a la geografía como la estadística a las matemáticas (Gutiérrez Puebla, 1994).

Los SIG son cada vez más esenciales para la geografía. Sin atrevernos a calificarla como el paso más importante después de la invención del mapa, si es posible afirmar

que ha significado un cambio muy importante en el tratamiento de la información espacial. Su tecnología es para esta ciencia como el microscopio, telescopio o ordenadores para otras (Gutiérrez Puebla, 1994). Y en cierta manera, el uso de esta nueva herramienta ha provocado la mejora de la reputación geográfica (Gutiérrez Puebla, 1994), acusada demasiadas veces de falta de rigor científico en sus métodos y técnicas.

En otro orden de cosas, los SIG también han servido de catalizador de la dicotomía entre las áreas geográficas. Sin duda es un lugar donde se mezclan aspectos relacionados con la geografía humana, física, y por supuesto de análisis geográfico regional. Es a esta última área donde el papel integrador de los SIG beneficia con claridad meridiana. Es aquí donde los SIG evidencian su papel de elemento integrador.

1.14.2. Los componentes de los SIG. Hardware y software.

Básicamente un SIG está estructurado por cuatro elementos fundamentales que son: hardware, software, datos y el recurso humano (Barredo, 1996). El vocablo ‘sistema’ aplicado a este conjunto de útiles informáticos denota un rasgo estructural en la relación existente entre las partes.

El hardware o el componente físico del sistema (Bosque, 1992) se compone de una plataforma de ordenador (estación de trabajo, PC, etc.) y una serie de periféricos englobados en dos grupos fundamentales: de entrada y de salida. En los primeros se pueden incluir las mesas digitalizadoras, los scanners (lectores raster o barreadores electrónicos) y el teclado; en los segundos, plotter o trazador, impresoras y monitores. Como grupo aparte, deben ser tratadas las unidades de almacenamiento.

En cuanto al software, “es el encargado de realizar las operaciones y la manipulación de los datos” (Barredo, 1996). La variedad de modelos depende de las diferentes casas comerciales que intentan introducir su producto. La facilidad de acceso, la capacidad de almacenamiento y procesamiento y la posibilidad de análisis complejos serán elementos esenciales a valorar en la calidad de un programa SIG. Cada vez es más

numerosa la oferta de programas destacando algunos como Arcinfo, Idrisi, Mapinfo, Osu-Map, Erdas, etc.

Pero si importantes son los dos elementos citados, básicos resultan los otros dos que faltan en este análisis: los datos y los usuarios.

Los datos geográficos constituyen la base de todo el sistema; sin ellos no tiene sentido ni el software ni el hardware, ni siquiera los usuarios. La dificultad en la recogida de algunos y lo perentorio de su actualidad provoca que sea este elemento el más costoso de todos los componentes de un proyecto SIG. Los datos pueden consumir el 70 % de todo el presupuesto de un proyecto (Barredo, 1996). El éxito del proyecto no está garantizado si no se tiene asegurada la actualización periódica de los datos. La dificultad en su representación es otro factor a tener en cuenta a la hora de organizar e introducir la información en el sistema.

1.14.3. Formato raster y vectorial.

El modelo lógico hace referencia a como se muestrean y organizan las variables y objetos para lograr una representación lo más adecuada posible. En un SIG existen básicamente dos modelos lógicos que se conocen como formato raster y formato vectorial y que dan lugar a los dos grandes tipos de capas de información espacial.

Raster. Un tipo de datos raster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor.

Cualquiera que esté familiarizado con la fotografía digital reconoce el píxel como la unidad de información de una imagen. Una combinación de estos píxeles creará una imagen, a distinción del uso común de gráficos vectoriales escalables que son la base del modelo vectorial. Si bien una imagen digital se refiere a la salida como una representación de la realidad, en una fotografía o el arte transferidos a la computadora, el tipo de datos raster reflejará una abstracción de la realidad.

Las fotografías aéreas son una forma comúnmente utilizada de datos raster con un sólo propósito: mostrar una imagen detallada de un mapa base sobre la que se realizarán labores de digitalización. Otros conjuntos de datos raster contendrá información relativa a elevaciones, un Modelo Digital del Terreno (DEM), o de reflexión de una particular longitud de onda de la luz (las obtenidas por el satélite LandSat), etc. Los datos raster se compone de filas y columnas de celdas, cada celda almacena un valor único.

Este tipo de datos se almacenan en diferentes formatos, desde un archivo estándar basado en la estructura de TIFF, JPEG, etc. El almacenamiento en bases de datos, cuando se indexan, por lo general permiten una rápida recuperación de los datos, pero a costa de requerir el almacenamiento de millones registros con un importante tamaño de memoria. En un modelo raster cuanto mayor sean las dimensiones de las celdas, menor es la precisión o detalle (resolución) de la representación del espacio geográfico.

En el formato vectorial los diferentes objetos se representan como puntos, líneas o polígonos. La representación de puntos o líneas es inmediata.

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos. Por ejemplo, una base de datos que describe los lagos puede contener datos sobre la batimetría de estos, la calidad del agua o el nivel de contaminación. Esta información puede ser utilizada para crear un mapa que describa un atributo particular contenido en la base de datos. Los lagos pueden tener un rango de colores en función del nivel de contaminación. Además, las diferentes geometrías de los elementos también pueden ser comparados.

1.15. Interpretación de los datos.

1.15.1. Interpretación visual de imágenes.

La interpretación visual de las imágenes, se basa en la habilidad humana de relacionar colores y patrones en una imagen de características del mundo real. Muy a menudo el resultado de la interpretación es hecho explícito a través de la digitalización de la geometría y los datos temáticos objetos relevantes (mapeo). Esta es utilizada para producir información espacial como ser: Mapas de suelos, mapas catastrales, mapas de uso de la tierra, etc. (Bakker; Jansen, 2001).

1.15.2. Interpretación digital de las imágenes.

1.15.2.1. Clasificación digital.

En el proceso de clasificación digital de imágenes el operador instruye a la computadora que realice una interpretación de acuerdo a ciertas condiciones predefinidas. Esta técnica forma parte de la interpretación digital de imágenes (Bakker; Jansen, 2001).

Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir método no supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (Chuvieco, 2002).

1.15.2.2. Clasificación supervisada.

Esta es realizada por un operador que define las características espectrales de las clases, mediante la identificación de áreas de muestreo (áreas de entrenamiento). Se requiere también que el operador esté familiarizado con el área de interés (Chuvieco, 2002)

1.15.2.3. Clasificación no supervisada.

Este método se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen. Esto implica que los ND (Números Digitales) de la imagen forman una serie de

agrupaciones o conglomerados o grupos de píxeles con similares características. Basado en esto, la computadora localiza arbitrariamente vectores principales y los puntos medios de los grupos. Luego cada píxel es asignado a un grupo por la regla de decisión de mínima distancia al centroide del grupo (Bakker; Jansen, 2001).

1.16. Software ILWIS (Sistema de la Información Integral de Tierra y Agua)

ILWIS es una sigla que significa “Sistema de la Información Integral de Tierra y Agua”. Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) con capacidad para hacer procesamiento digital de imágenes. ILWIS ha sido desarrollado por el Instituto Internacional de Estudios Aerospaciales y Ciencias de la Tierra (ITC) de Enschede, Holanda (Países Bajos).

Como todo paquete de SIG, ILWIS le permite entrar, manipular, analizar y presentar datos geográficos. A partir de estos datos usted puede generar información espacial, modelos espaciales y evaluar diferentes procesos de la superficie de la tierra.

Para tomar mejores decisiones el acceso a diferentes clases y fuentes de información es necesario, por ello los datos deben permitir ser almacenados, actualizados, manejados y deben permitir hacer diferentes análisis para así obtener resultados confiables y rápidos, para generar nueva información útil en los diferentes procesos de toma de decisiones. En estos procesos ILWIS puede ser utilizado como una eficiente herramienta de apoyo.

CAPÍTULO II
MATERIALES Y METODOLOGÍA

MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1. Zona de estudio

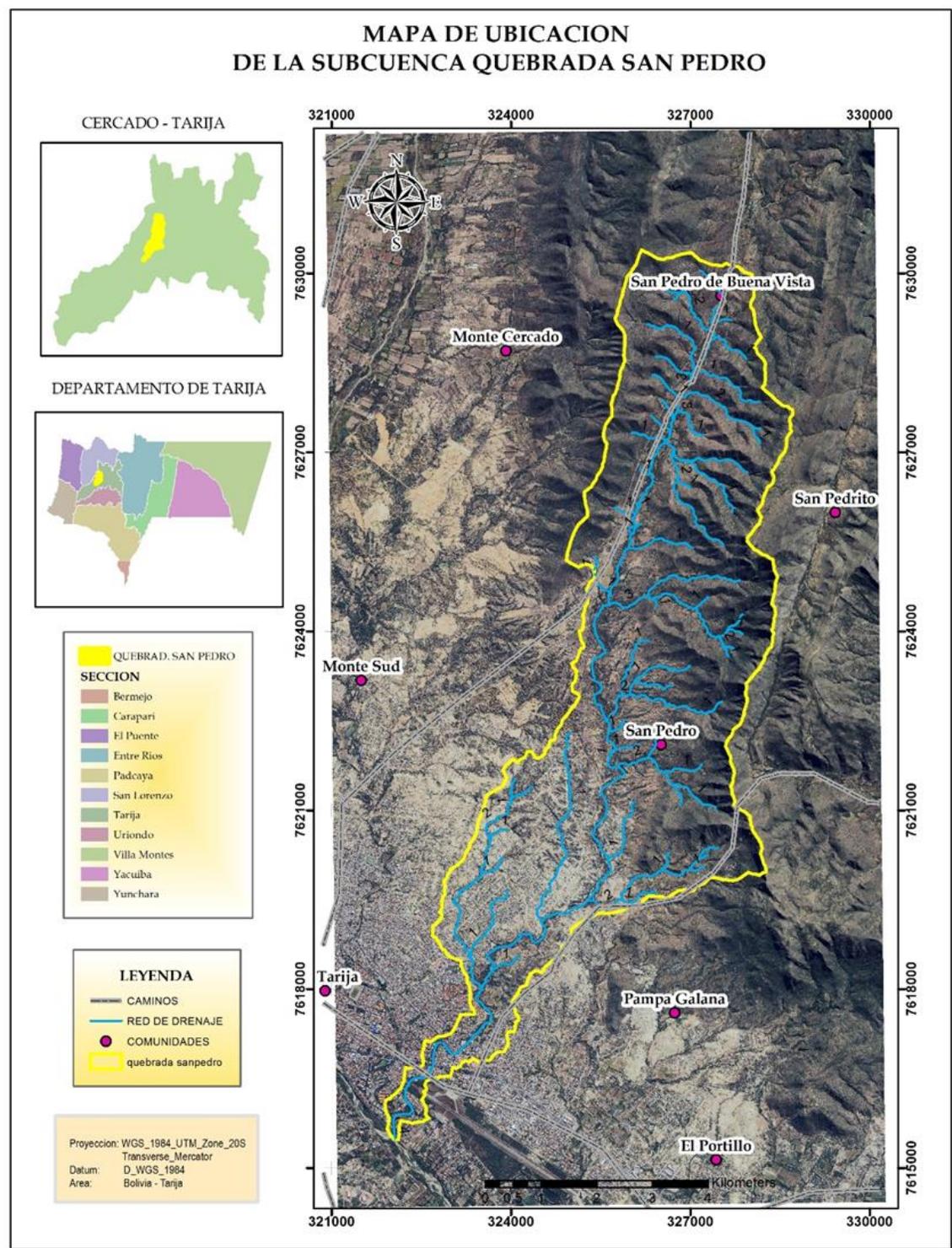
2.1.1. Ubicación

El presente trabajo se realizó en la Sub cuenca de la quebrada San Pedro, se ubica en el Departamento de Tarija, que se encuentra dentro y ser parte de la ciudad de Cercado – Tarija. Geográficamente se encuentra ubicada entre los paralelos $21^{\circ}52'17.60''$ - $22^{\circ}4'40.50''$ de Latitud Sur y meridianos $64^{\circ}34'19.66''$ - $64^{\circ}46'17.58''$ de Longitud Oeste y una altitud media de 1914 m.s.n.m.

La Subcuenca del Rio San Pedro se ubica al Noreste de la ciudad de Tarija, provincia Cercado, entre los paralelos $21^{\circ} 25' 50''$ de latitud sur y $64^{\circ} 46'$ a $69^{\circ} 49' 13''$ de longitud oeste.

Limita al Norte y al oeste con la Subcuenca el monte, al este con la cuenca del rio Santa Ana y al Sur con la ciudad de Tarija. (ZONISIG, 2000).

Mapa N°1. Localización la Sub Cuenca el San Pedro



2.2. Características generales de la zona

2.2.1. Geológica y Geomorfológica:

Presenta dos tipos de formación geológicas: **a) Ordovícico-Silurico.-** Son las rocas sedimentarias más antiguas de la zona, esta representado por sedimentos de menor espesor compuestos principalmente por lutitas con intercalación de bancos potentes de areniscas de color pardo amarillento a gris, rocas muy friables con módulos o concreciones ferroginos, **b) Cuaternarias.-** La zona de estudio se encuentra conformado por material cuaternario identificado como terrazas y depósitos aluviales, aluviones recientes y depósitos lacustres. El curso principal del río San Pedro está formado por depósitos de material aluvial heterogéneamente distribuido.

Geomorfológicamente la zona se puede establecer dos tipos de paisajes: Uno que corresponde al desarrollado sobre los sedimentos pre-cuaternarios formando crestas y valles sub-paralelos y el otro desarrollado sobre los depósitos que rellenan las depresiones del anterior paisaje, que se caracterizan por presentar llanuras lacustres con distintos grados de erosión. Se encuentran también terrazas y conos aluviales que constituyen las áreas de recarga al curso principal del río. Finalmente, las formaciones del paleozoico no diferenciado lo conforman las partes altas. (Goitia, 1990).

2.2.2. Características Edáficas

Tipos de suelo

El estudio semi detallado del suelo para el Valle Central de Tarija. Realizado por el M.A.C.A. en el año 1978, considera las siguientes clases de suelos de acuerdo a su capacidad de uso para la subcuenca de San Pedro. (Goitia, 1990).

De acuerdo a su capacidad de uso de los suelos está constituido por las siguientes clases.

Clase I.- No existe esta clase en la zona.

Clase II.- Suelos alcalinos con textura franco arenosos, profundos o moderadamente profundos, planos o casi planos con pendientes de 0 a 12% correspondientes a terrazas aluviales suaves o moderadamente inclinados, originados por sedimentos de tipo lacustre. Presentan estructuras rocosas, con una textura superficial moderadamente gruesa, con erosión de tipo hídrico, con laminar y en surcos. Esta clase de suelos abarca una superficie de 732 Ha. son tierras buenas para determinados cultivos, hortícola. Pero requieren prácticas para prevenir exteriorización cuando son cultivados.

Clase III.- De textura franco arenosa. Fisiográficamente corresponden a las terrazas aluviales recientes, con pendientes inclinadas (de 2 a 6%). Presentando erosión en cárcavas ligeramente a moderado. (PERTT, 1995).

2.2.3. Características Climáticas

El clima de la cuenca es variado, con una temperatura media alcanza de 18° C. La precipitación pluviométrica varía de 500 a 600 mm. Concentrándose el periodo comprendido entre los meses de diciembre a febrero, la temporada de estiaje corresponde a los meses de abril a septiembre. La zona también es propensa a granizo a fines de primavera y en verano y periodos de heladas en meses de mayo hasta agosto. Aproximadamente se producen 26 heladas por año, llegando a mínimas extremas de – 10° C. Con una probabilidad del 20 %. La dirección predominante del viento es Sudeste y la humedad ambiente relativa alcanza 57%. (PERTT, 1995).

2.2.4. Hidrografía

La Subcuenca de san pedro es una zona de acumulación y explotación de aguas subterráneas las mismas que van a desembocar a la Cuenca alta del Rio Guadalquivir.

El sistema de drenajes es muy pronunciado, principalmente en la zona lacustre. Esta bifurcación sigue avanzando en forma de erosión en cárcavas, en función de drenes de lluvias. El excesivo escurrimiento del agua de lluvias y la poca infiltración se debe a la falta de cobertura vegetal en la subcuenca, suelos más arcillosos y lógicamente a una época de lluvias muy corta, con alta concentración de las precipitaciones. Todo esto se refleja en avenidas de ríos y con un volumen de arrastre de sedimentos durante la época

de lluvias. Por otra parte, en periodos de estiaje, las quebradas disminuyen fuertemente su caudal, llegándose a secar. (Goitia, 1990).

2.2.5 Vegetación

Se encuentra constituida por la formación Fito geográfica de valles templados – cálidos o montes de valles.

La vegetación en la subcuenca es escasa y dispersa no se encuentra formando masas forestales y se halla en peligro de extinción como consecuencia de una tala indiscriminada y por el sobre pastoreo al que se encuentran sometidos los terrenos, entre las principales especies se mencionan las siguientes :

Cuadro N° 1. Especies de vegetación de la quebrada San Pedro

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
Alpataco	<i>Prosopis alpataco</i>	Leguminosa
Churqui	<i>Acacia caven</i>	Leguminosa
Chañar	<i>Geofraea decorticans</i>	Leguminosa
Churqui blanco	<i>Prosopis nígra</i>	Leguminosa
Jarca	<i>Acacia visco</i>	Leguminosa
Tusca	<i>Acacia aroma</i>	Leguminosa
Algarrobo blanco	<i>prosopis alba</i>	Leguminosa
Molle	<i>Schinus molle</i>	Anacardacea
Atamisque	<i>Atamisquea amarginata</i>	Carcardácea
Chilca	<i>Caccharis sp</i>	Asteraceae
Churqui amarillo	<i>Prosopis ferox</i>	Leguminosa

(PERTT, 1998).

2.2.6. Sistemas productivos

No existen sistemas de comercialización y los productos son transportados en camión lo que para muchas resulta difícil en época de lluvias. Su producción está basada principalmente por la agricultura (maíz, papa, arveja, trigo, etc.) Y en una pequeña escala por la ganadería; dichos recursos se ven limitados por la escasez del agua y por las condiciones climáticas adversas que presenta la zona, debido a estas situaciones los ingresos que sustentan a las familias del lugar son restringidos únicamente al consumo de la población (PERTT, 1998).

2.3. Materiales

2.3.1. Materiales de campo

- Cámara fotográfica
- Planillas de campo
- GPS

2.3.2. Material de escritorio

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

2.4. Metodología

Descripción de la metodología a utilizar:

Antes de ejecutar paso a paso la metodología, se realizaran etapas preliminares, muy importantes. Dichas etapas son: Reconocimiento de campo y recopilación de fuentes de información existente de la subcuenca y preparación de información básica para iniciar el presente trabajo.

2.4.1. En la primera etapa (Recopilación de información de la zona)

Se recolectara toda la información disponible sobre la subcuenca de San Pedro: Documentos, datos; mapas físicos; e imágenes digitales. También se visitaran a

instituciones con experiencia de trabajo en la subcuenca como ser el PERTT donde se consultara con los técnicos sobre la información de la subcuenca y sobre las posibilidades de realizar la presente metodología, para luego proseguir con los siguientes pasos:

a) Realización de Mapas

Posteriormente como resultado de la obtención de la imagen satelital se obtendrán los siguientes mapas:

Mapa Base:

La elaboración del mapa base, según el término de cuenca se procederá a delimitar e interpretando las curvas de nivel de las hojas topográficas correspondientes a escala 1:50.000 de las cartas elaboradas por el instituto Geográfico Militar (IGM), Dicha delimitación será ajustada con la imagen satelital obtenida anteriormente para así obtener, una subcuenca bien delimitada

Mapa de la Red de Drenaje:

Siguiendo con la imagen satelital se procederá a determinar el mapa de red de drenaje, ya que ésta es uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio. Donde se puede obtener una gran cantidad de información en lo que se refiere a la roca madre y a los materiales del suelo, a la cantidad de agua que circula en la subcuenca.

Así mismo, el conocer la forma de la subcuenca es fundamental en el análisis del medio, ya que da lugar a muchas restricciones y posibilidades. Así, por ejemplo, una cuenca con red de drenaje densa y fuertes pendientes, limita el desarrollo de ciertas actuaciones, aconseja el desarrollo de actividades que reduzcan la erosión, etc. Por el contrario, las cuencas con pendientes débiles y que ocupen amplias superficies son propicias a la introducción de actuaciones que llevan consigo grandes infraestructuras, ya que los problemas de acceso serán menores. (Goitia, 1990).

2.4.2. En la Segunda Etapa (Reconocimiento de campo)

Se visitara la zona de estudio, con el recorrido en gran parte de la zona de interés, se realizaran los primeros contactos con los comunarios y la verificación respectiva de los mapas, obtenidos en la primera fase y así mismo, se recabara información socioeconómica sobre la subcuenca de San Pedro, a través de los mismos comunarios e instituciones como ser: PERTT y otros.

2.4.3. En la tercera etapa (Validación de la información)

En esta etapa se procesara, manipulara y analizara la información obtenida de la subcuenca de San Pedro, con la finalidad de validar toda la información obtenida y la posterior preparación de la información básica para iniciar el presente trabajo.

2.5. Métodos a desarrollarse las características morfométricas

Otro de los métodos a desarrollarse en el presente trabajo para determinar las características morfométricas de la subcuenca de San Pedro a través de los siguientes parámetros.

2.5.1. Determinación de los Parámetros Morfométricos de la Subcuenca de San Pedro:

Numerosos parámetros han sido propuestos para caracterizar la morfometría de las cuencas hidrográficas, las mismas que presentamos a continuación para la realización del presente estudio:

2.5.1.1. Área:

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

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

Las cuencas por su tamaño se les puede clasificar como:

Cuadro N° 2: Tamaño de Cuencas

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

2.5.1.2. Perímetro

Es la longitud de los contornos de la subcuenca y está ligada a la irregularidad de la cuenca.

2.5.1.3. Parámetros de Forma**Longitud axial (La):**

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

Ancho máximo:

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

Ancho medio:

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

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

Ap.: Ancho promedio (km).

A: área: km²

La: Longitud Axial (km)

Coefficiente de Gravelius o índice de Compacidad (Kc)

Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la subcuenca y la circunferencia de un círculo de igual área que el del área de estudio. Cuánto más cercano esté el índice

a la unidad, la subcuenca será más circular y por tanto más compacta, y en la medida que aumenta, la cuenca adquiere una forma más oval. Las subcuencas redondeadas, tienen tiempos de concentración cortos; con gastos picos muy fuertes y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen gastos picos más atenuados y recesiones más prolongadas. Para su cálculo se usa la siguiente expresión:

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{Ac}}$$

Dónde:

Kc = Coeficiente de Compacidad

Ac= Área de la cuenca (km²)

P = Perímetro (km)

Factor de Forma (Ff)

Es la relación entre el ancho medio de la subcuenca y la longitud del curso de agua más largo de la subcuenca misma, en este sentido, valores inferiores a la unidad indican cuencas alargadas y aquellos cercanos a uno, son redondeados. La forma de la cuenca hidrográfica afecta el hidrógrama de escorrentía y las tasas de flujo máximo, la fórmula utilizada en su cálculo es la siguiente:

$$Ff = \frac{\bar{a}}{La} = \frac{A}{La} = \frac{Ac}{(La)^2}$$

$$Ff = \frac{Ac}{(La)^2} = 0.2 - 1$$

Dónde:

Ac : Área de la subcuenca (km²).

La : Longitud del río más largo (Km.).

Índice de alargamiento

Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal, y el ancho máximo de ella. Éste define si la cuenca es alargada, cuando su valor es mucho mayor a la unidad, o si es muy achatada, cuando son valores menores a la unidad.

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

Donde:

IA: Índice de alargamiento

L = longitud de la cuenca

An = ancho de la cuenca

Cuadro N° 3: Índice de alargamiento.

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

2.5.1.4. Parámetros relativos al Sistema de Drenaje

a) Densidad de Drenaje (Km/Km²)

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

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

Donde

D_d = Densidad de drenaje

L = Longitud total de las corrientes

A = Área total de la cuenca

Cuadro N° 4: Clasificación de la densidad de drenaje

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

Fuente: (INE) Instituto Nacional de Ecología

$D_d > 0,5$ la Precipitación influye rápidamente en las descargas de la subcuenca.

$D_d < 0,5$ la Precipitación influye lentamente en las descargas de la subcuenca.

b) Extensión media del escurrimiento superficial

Es la distancia media en línea recta que el agua precipitada tendrá que recurrir para llegar al lecho de un curso de agua.

Se obtiene de la siguiente relación:

$$Es = \frac{A}{4 * Li}$$

Dónde:

Es : Extensión Media de escurrimiento Superficial

Li : Suma de la longitud de los ríos de 1er, 2do y 3er Orden (km.).

A : Área de la Subcuenca (km²).

2.5.1.5. Parámetro relativo a las variaciones altitudinales

a) Altitud media de la Subcuenca (msnm)

Representa la altura media de la subcuenca, es el parámetro ponderado de las altitudes del área de estudio, obtenidas en la carta o mapa topográfico y es un valor muy importante para los estudios de análisis hídricos.

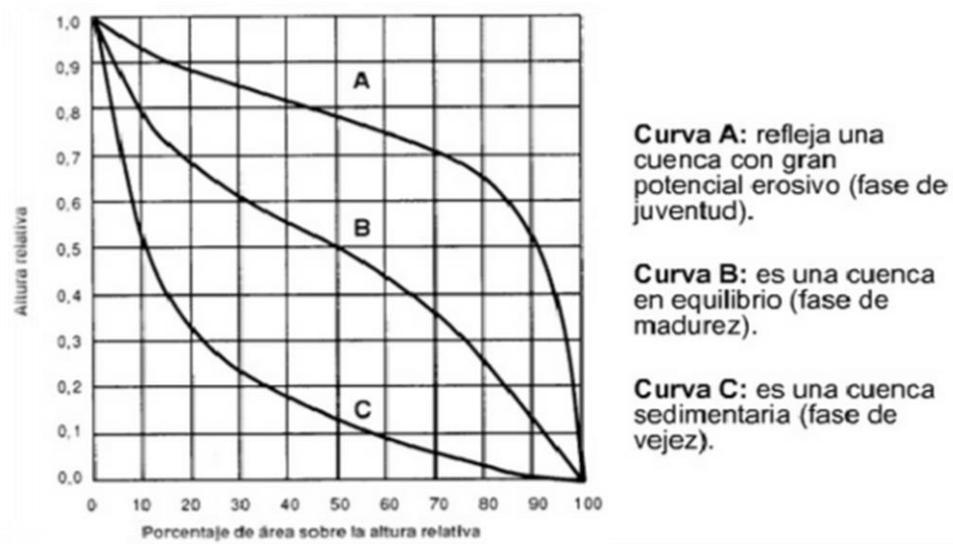
b) Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica determina la distribución altimétrica de las áreas de la subcuenca, e indica el porcentaje del área de drenaje que se encuentra por encima o por debajo de cada altitud considerada, caracterizando en cierta medida su relieve

Cotas (msnm)	Cota Media (Hi)	Área (Km ²)	Porcentaje (%)	Acumulado (%)	Hi*Si
Total					

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

Figura N° 1. Curva Hipsométrica



c) Rectángulo Equivalente

Es un rectángulo que tiene la misma superficie de la cuenca de lado mayor y menor “L” y l respectivamente con curvas de nivel paralelas al lado menor, respetándose la hipsometría natural de la subcuenca.

Lado Mayor:

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

Lado Menor:

$$l = \frac{P}{4} - \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

Sabemos que:

P : Perímetro de la Subcuenca

A : Área de la Subcuenca

3.8.1.6. Parámetros relacionados con la declividad

Pendiente del cauce principal

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

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

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

Donde:

S: Pendiente media del cauce

H: Desnivel entre los puntos más elevado y más bajo

L: Longitud del cauce

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

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

Fuente: EL PERUANO 2009

La forma de cuantificar el relieve de una cuenca es mediante la curva hipsométrica, definida por la distribución de las elevaciones de la cuenca utilizando curvas de igual

altitud. Se caracterizó la proporción de la superficie total de la cuenca comprendida entre 2 curvas adyacentes Benítez Chunga, (1978).

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

2.5.1.7. Parámetros relativos al relieve:

Pendiente de la cuenca hidrográfica.

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

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

Pendiente media de la cuenca

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

Donde:

S= Pendiente media de la cuenca

H = Diferencia de cota

P = Perímetro de la cuenca

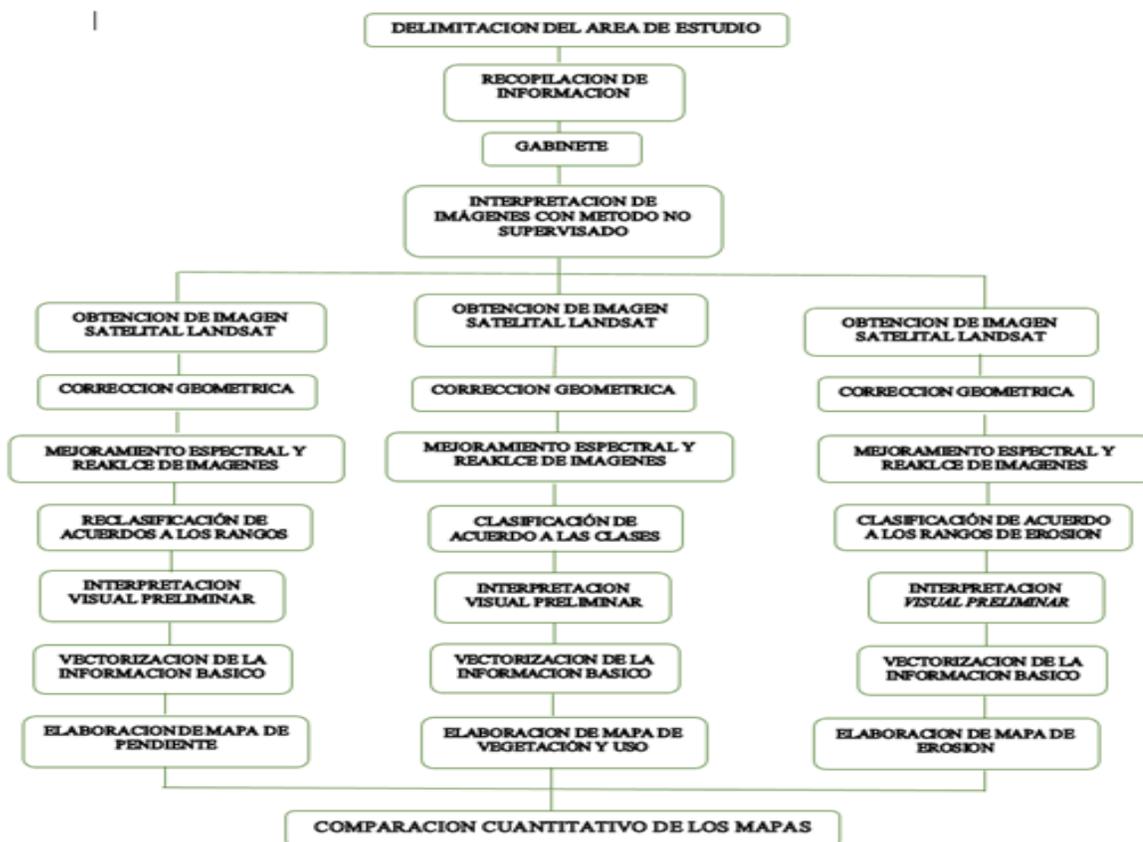
Cuadro N° 6: Clasificación de la pendiente media de la cuenca

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

Fuente: (INE) Instituto Nacional de Ecología

2.6. Metodología para la zonificación de la Quebrada San Pedro

Figura N°2. Esquema Metodológico, propuesto a seguir para caracterización de la zonificación



2.6.1. Mapa de pendiente

La elaboración del mapa de pendiente comprende: Digitalización con software especializado de mapas topográficos con curvas de nivel (arcgis)

Se cargó el modelo digital del terreno de la cuenca S23W065, donde se cortó el perímetro de la cuenca, se va al Arctoolbox (caja de herramientas). Luego a spatial Analyst Tool, abrimos y nos vamos a Surface y elegimos Slope, abrir o cargar la cuenca “Dem” damos salida de mapa pendiente. Se reclasificó ingresando en la ventana Reclass, Reclassify y dando las 5 categorías de acuerdo al cuadro de pendiente.

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

Cuadro N° 7. Relieve - Pendiente

PONDERACION	POSIBILIDAD DE EROSION	RANGO	DESCRIPCION
1	Muy Baja	0 - 2	Plano a casi plano
2	Baja	2 - 10	Ligeramente inclinado a inclinado
3	Moderada	10 - 30	Fuertemente inclinado a moderadamente escarpado
4	Alta	30 - 90	Escarpado a muy escarpado
5	Muy Alta	> 90	Muy fuertemente escarpado a extremadamente escarpado

Elaboración propia.

2.6.2. Mapa de cobertura vegetal

Comprende la estratificación de la vegetación natural, empleando técnicas de mejoramiento de la imagen satelital landsat para identificar las discontinuidades del medio biofísico.

Se han empleado los criterios mundiales establecidos en la leyenda de vegetación de la FAO/UNESCO (1973) adaptada a las condiciones biofísicas del territorio nacional para identificar los tipos de vegetación como bosque, matorral, vegetación herbácea y cultivos. Luego de identificar la cobertura a partir de las características espectrales de la imagen, se realizó la vectorización de la cobertura vegetal.

La interpretación de la imagen satelital se complementa con interpretación de fotografías aéreas de escala de 1:50000, sobre la base de criterios fisiográficos, topografía, tonos grises, textura, contraste con el entorno, aspecto homogéneo de cobertura, parcelaje y rasgos culturales (potreros, camino y viviendas).

Se realizó el método no supervisado con el software Arcgis con la herramienta del Spatial Analysis Tools, ingresando a la ventana Iso Cluster Unsupervised Classification donde damos las clases de vegetación obteniendo 6 tipos de unidades de vegetación como ser; Áreas Antrópicas, Bosque ralo, Matorral denso a ralo, Vegetación rala a semidensa, Zona Erosionada, Zona Urbana.

Los resultados obtenidos de la clasificación se ponderaron en base a la matriz presentada en el Cuadro 9.

Cuadro N° 8. Clasificación de estrato vegetal

ESTRATO VEGETAL	ALTURA PROMEDIO DEL ESTRATO (m)	CLASES
Herbáceo	< 0,5	Incluye todas las formas de crecimiento de herbáceas y graminoide (vegetación herbácea)
Arbustivo	< = 5	constituida mayormente por arbustos leñosos pueden ser densos o ralos (matorral)
Arbóreo	> 5	formado por árboles que cuyas copas pueden o no tocarse entre sí, pero cubren por lo menos el 40% de la superficie (bosque)

Elaboración propia.

Cuadro N° 9: Vegetación

CODIGO	DESCRIPCION
	Áreas Antrópicas
	Bosque ralo a semidenso mayormente caducifolio semidesiduo montano
	Matorral denso a ralo medio o mayormente caducifolio semidesiduo montano
	Vegetación rala a semidensa graminoide baja sin sinusia arbustivo montano
	Zona Erosionada
	Zona Urbana

Elaboración propia.

2.6.3. Mapa de uso actual

Para la identificación y mapeo de las diferentes formas del uso actual, ocupación, intervención, y alteración de los recursos de la tierra en la cuenca hidrográfica del río, se ha empleado la siguiente metodología:

- Elaboración de una leyenda preliminar con las principales categorías del uso de la tierra (agrícola, pecuaria y forestal) a partir de la información secundaria existente y nivel de referencia de la cuenca hidrográfica.
- Interpretación del uso actual de la tierra en la imagen de satélite, en base a elementos como la geomorfología, clase de cobertura de la tierra, vegetación natural, tono de la imagen satelital, accesibilidad, nivel de referencia de la cuenca hidrográfica
- Interpretación de las imágenes satelitales en sitios especiales.
- Procesamiento de la información obtenida en la elaboración de la leyenda del uso actual de la tierra.
- Interpretación final del uso y edición del mapa final del uso actual de la tierra.
- Descripción de las formas del uso en función de los primeros problemas y potencialidades.

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

Se aplicó el método no supervisado con el software Arcgis con la herramienta del Spatial Analysis Tools, ingresando a la ventana Iso Cluster Unsupervised Classification donde se dio las clases o categorías de uso actual de la tierra de acuerdo al tono que refleja la imagen satelital (Agricultura extensiva con cultivos anuales y perennes, Bosque implantado, Pastoreo bovino, Pastoreo extensivo con ganado mixto, Pastoreo extensivo con ganado ovino y caprino, Urbanización)

Cuadro N° 10 Uso Actual del suelo

SIMB	DESCRIPCION DE USO
	Agricultura extensiva con cultivos anuales y perennes
	Bosque implantado
	Pastoreo bovino
	Pastoreo extensivo con ganado mixto
	Pastoreo extensivo con ganado ovino y caprino
	Urbanización

Elaboración propia

2.6.4. Mapa de erosión

La metodología para la elaboración del mapa de erosión actual de la subcuenca se basa en los siguientes aspectos:

Metodología seguida en el estudio y la elaboración del mapa de erosión comprende los siguientes pasos:

- Recopilación de la información secundaria relacionada con el tema de la erosión y procesos geomorfológicos, particularmente en la sub cuenca san pedro.
- Realce de la imagen satelital de landsat banda 8 pancromática, con una resolución de 15m y bandas 5.4 y 3, combinación en color real con una resolución espacial de 30m.

- Identificación preliminar de las diferentes formas de erosión hídrica mediante la interpretación digital de la imagen satelital mejorada, en base a criterios relacionados a los factores que influyen en el proceso de erosión como características en las formaciones geológicas, el relieve(pendiente), el paisaje geomorfológico, cobertura vegetal y el uso de la tierra, empleando el sistema de información geográfica
- Obtención de un mapa preliminar de unidades de erosión con su respectivas leyendas
- Análisis de la información e interpretación final, elaboración de la leyenda y la descripción del mapa.

Se aplicó el método no supervisado donde se dio las clases o categorías de erosión de la tierra de acuerdo al tono que refleja en la tabla.

Cuadro N° 11. Erosión

SIMB	DESCRIPCION
	Área Urbana
	Erosión Ligera
	Erosión Ligera a Moderada
	Erosión Ligera en proceso de Estabilización
	Erosión Moderada
	Erosión Severa

Elaboración propia

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSION

RESULTADOS Y DISCUSION

3. RESULTADOS

El mapa base fue elaborado a partir de una imagen satelital, en la cual se hizo los cálculos realizados con la aplicación de la herramienta de Arcgis, obteniéndose una superficie de 38,83Km². Y un perímetro de 42,48Km.

3.1. Parámetros Morfométricos:

Cuadro N° 12. Parámetros Morfométricos

PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS DE LA CUENCA		
PARAMETROS BASICOS	Valor	Unidad
Área de una Cuenca (A):	38,83	Km ²
Perimetro de la Cuenca (P):	42,48	Km
Cota minima	1879	m.s.n.m.
Cota maxima	2691	m.s.n.m.
Diferencia Altitudinal	812	m.
Longitud Total de Cauces (Lt):	75,36	Km
Ancho de la Cuenca (w):	4,78	Km
Altitud		
Atitud mas Frecuente	1998	m.s.n.m.
Altitud de Frecuencia Media	2195	m.s.n.m.
Pendiente		
Pendiente Promedio de la Cuenca	24,56	%
Red Hidrica		
Longitud del Curso Principal	1711,68	m.
Longitud del Curso Principal	17,12	Km
Orden de la Red Hidrica	4	Und
PARAMETROS GENERALES		
Factor de Forma	0,16	Km/Km ²
Coefficiente de Compacidad Gravelius	1,91	
Densidad de Drenaje	1,94	Km/Km ²
Tiempo de Concentracion	2	Horas
Pendiente del Cauce Principal	0,26	m/Km

Elaboración propia.

3.1.1. Área:

El área calculada de la quebrada san pedro que se encuentra intersectado dentro de la ciudad de Tarija tiene de 38,83 km².

También se sacó cálculos de otras características de la cuenca como el ancho y el largo de la quebrada los cuales sirvieron para calcular los datos morfométricos posteriores. Tomando en cuenta el cuadro.... En donde está la clasificación según su tamaño, la quebrada se encuentra categorizado como una cuenca pequeña, la cual ya es considerada por su tamaño en una subcuenca ya que entra en los rangos < de 50 km² (Ver Cuadro N° 3).

3.1.2. Perímetro:

El perímetro, es el contorno de la superficie considerada como límite máximo de la cuenca y este valor es de 42,48 Km.

Longitud del Cauce Principal:

La longitud principal se considera al cauce de mayor longitud dentro de la cuenca, es decir, la longitud del río principal desde el punto más bajo hasta el punto más alto de la cuenca. Este valor es de 17,12Km.

3.1.3. Parámetro de Forma

La forma de la cuenca controla la velocidad con que el agua de la lluvia llega al cauce principal, cuando sigue su curso de su origen hasta la desembocadura. Los parámetros que miden la forma de la cuenca son: coeficiente de compacidad y factor forma.

Longitud axial:

Esta línea recta con dirección “paralela” al cauce principal del río de la cuenca, se procedió hacer en el arcgis lo cual nos dios como resultado ya mencionado de 15,69 km como se en el mapa de parámetros

Ancho máximo:

Es la longitud perpendicular a la línea recta con dirección “paralela” al cauce principal de la cuenca, el cual nos dio como resultado de 4,78 km.

Ancho medio:

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

$$Ap = \frac{38,83}{15,69} = 2,47 \text{ km}$$

Ap.: Ancho promedio (km).

A: área: km²

La: Longitud Axial (km).

El ancho medio de la cuenca el campanario es de 2,47 km.

Factor de forma:

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

$$IF = \frac{2,47}{(15,69)^2} = 0,15$$

IF: Índice de forma. Factor adimensional

Ap.: Ancho promedio (km).

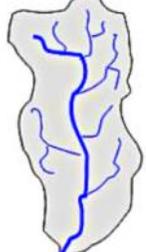
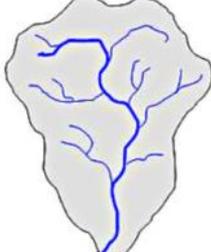
La: Longitud Axial (km).

La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente.

Este valor se encuentra entre 0 - 0,25, demostrándose que la cuenca tiene forma estrecha, sin riesgos de crecidas considerables.

El factor de forma ayuda a predecir el tiempo que tarda el agua en escurrir desde la parte más alta hasta llegar a su desembocadura.

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

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

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

Coefficiente de compacidad:

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

$$C_c = \frac{0,282 * 42,48}{\sqrt{38,83}} = 1,9096$$

Cc K: coeficiente de compacidad o de Gravelius, adimensional

P: perímetro de la cuenca, en kilómetros

A: área de la cuenca, en kilómetros cuadrados

De acuerdo al cuadro N° 2 de valores de coeficiente de compacidad que dio como resultado 1,9096 este corresponde o está dentro del rango de 1,51 a 1,75 que es de forma *OVAL OBLONGA A RECTANGULAR OBLONGA*.

Con esto se evalúa como la geometría de la subcuenca afecta al escurrimiento y su respuestas o reacciones en la caída de las lluvias, un coeficiente bajo indica una subcuenca afecta al escurrimiento.

Índice de alargamiento:

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

$$IA = \frac{15,69}{4,78} = 3,28$$

Donde:

IA: Índice de alargamiento

L = longitud de la cuenca

An = ancho de la cuenca

Ya dado el resultado del índice de alargamiento que dio como resultado 3,28 que entra al rango $< a 1$ que se encuentra en el cuadro N° 4, que es una cuenca achatada y por lo tanto el cauce principal es corto como se puede apreciar en el mapa de drenaje.

Indica la rapidez que puede tener el flujo del agua la cual es fundamental para lograr hacer una gestión eficiente del agua y desarrollo sostenible.

3.1.4. Parámetros relativos al Sistema de drenaje

Densidad de drenaje:

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

$$Dd = \frac{75,36}{38,83} = 1,94$$

Donde

D_d = Densidad de drenaje

L = Longitud total de las corrientes

A = Área total de la cuenca

Respecto a la densidad de drenaje de esta cuenca se encuentra dentro del rango de 1.9-3.6 que tiene como clasificación MODERADA que se encuentra en el cuadro N° 6.

Esto es para una mejor comprensión la eficacia y el grado de ramificación de la red de ríos y arroyos que lo conforman, donde esta tiene un sistema desarrollado donde el escurrimiento es moderada.

Extensión media del escurrimiento superficial

Es la distancia media en línea recta que el agua precipitada tendrá que recurrir para llegar al lecho de un curso de agua.

$$Es = \frac{A}{4 * Li}$$

$$Es = 38,83 / (4 * 75,36) = 0,13 \text{ km}$$

Muestra la distancia media que el agua de la precipitación tendrá que transportarse hasta un cauce de agua cercano. Lo cual sería 0,13 de kilómetro.

3.1.5. Parámetro relativo a las variaciones altitudinales

d) Altitud media de la Subcuenca (msnm)

la altura media de la subcuenca, es el parámetro ponderado de las altitudes del área de estudio, obtenidas desde el DEM de la quebrada san pedro que es 350 msnm

$$Alt_m = \frac{cot_{max} + cot_{min}}{2}$$

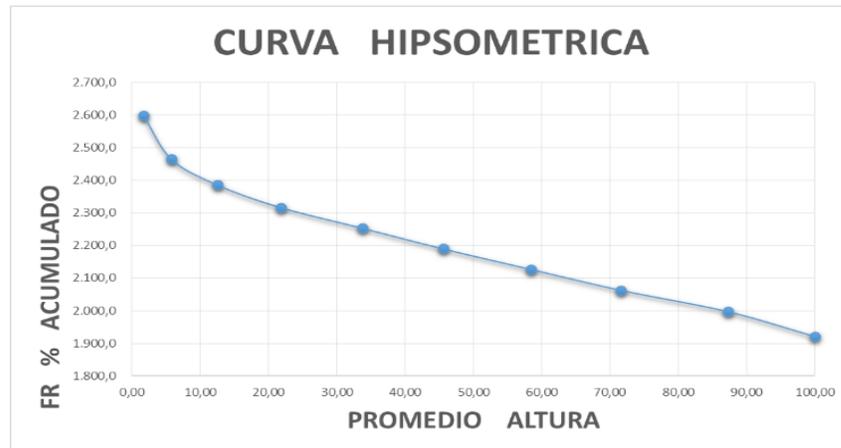
$$Alt_m = 2691 - 1879 / 2$$

$$Alt_m = 406 \text{ msnm}$$

El hacer el cálculo de la altitud media de la subcuenca es comprender la dinámica hídrica, donde influye la cantidad de escorrentía y ayuda a estimar el volumen total del agua que puede acumular la subcuenca durante la precipitación.

e) Curva Hipsométrica

N°	COTAS (msnm)			AREA			
	MIN	MAX	PROMEDIO	AREA (Km2)	AREA ACUM (Km2)	F.R. (%)	F.R. ACUM(%)
1	1879	1964	1.921,5	4,96	39,19	12,762	100,00
2	1965	2030	1.997,5	6,06	34,23	15,613	87,24
3	2031	2095	2.063,0	5,12	28,17	13,182	71,63
4	2096	2158	2.127,0	5,01	23,05	12,912	58,44
5	2159	2222	2.190,5	4,58	18,04	11,802	45,53
6	2223	2284	2.253,5	4,64	13,46	11,954	33,73
7	2285	2349	2.317,0	3,61	8,82	9,301	21,77
8	2350	2423	2.386,5	2,61	5,20	6,723	12,47
9	2424	2508	2.466,0	1,58	2,59	4,057	5,75
10	2509	2691	2.600,0	0,66	1,02	1,695	1,69
				38,83		100	



Habiendo cargado ya las respectivas cotas para poder realizar la gráfica de la curva hipsométrica se puede observar que esta misma tiene la forma C o curva C la cual refiere que la cuenca en cuestión se encuentra en fase de MADUREZ. (Ver Fig. N° 1) Esto es la distribución de la altitud dentro de la subcuenca y la curva es la acumulada que parte de la elevación mínima del terreno localizada en la descarga o salida de la subcuenca, la cual nos ayuda a comprender la distribución altitudinal de la cuenca donde se puede identificar zonas altas, medias y bajas.

Está caracterizada por su forma equilibrada y un relieve moderado con red de drenaje densa y desarrollada su vegetación es diversa,

Rectángulo Equivalente

Lado Mayor:

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

$$L = 42.48/4 + \sqrt{((42.48/4)^2 - 38.83)}$$

$$L = 19.29$$

Lado Menor:

$$l = \frac{P}{4} - \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

$$l = 42.48/4 - \sqrt{((42.48/4)^2 - 38.83)}$$

$$l = 2.02$$

Sabemos que:

P : Perímetro de la Subcuenca

A : Área de la Subcuenca

Esta fórmula es una representación de una figura geométrica que tiene la misma área y perímetro que la subcuenca real, se lo utiliza para simplificar la forma de la cuenca y facilitar estudios de los análisis espaciales y comparación entre diferentes cuencas. Este factor nos ayuda a simplificar la forma de la subcuenca transformando la forma irregular de la misma en un rectángulo donde se facilita la visualización y su análisis espacial.

3.1.6. Parámetros relacionados con la declividad

Pendiente del cauce principal:

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

$$S = \frac{812}{17,12} = 47,42m$$

Donde:

S: Pendiente media del cauce

H: Desnivel entre los puntos más elevado y más bajo

L: Longitud del cauce

Sacando el cálculo de la pendiente del cauce principal de la cuenca (Cuadro N° 5) esta está dentro de la clasificación DE EMPINADO ya que tiene como rango 47,42.

La característica analiza la velocidad de la escorrentía, el cálculo del tiempo de concentración del agua que cursa desde la zona alta a la desembocadura y el tipo de erosión.

3.1.7. Parámetros relativos al relieve

Pendiente de la cuenca hidrográfica.

La pendiente de la cuenca, es un parámetro tiene una relación importante y compleja con la infiltración del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía.

Pendiente media de la cuenca:

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

$$S = \frac{2 * 812}{42,48} = 38,23$$

Donde:

S= Pendiente media de la cuenca

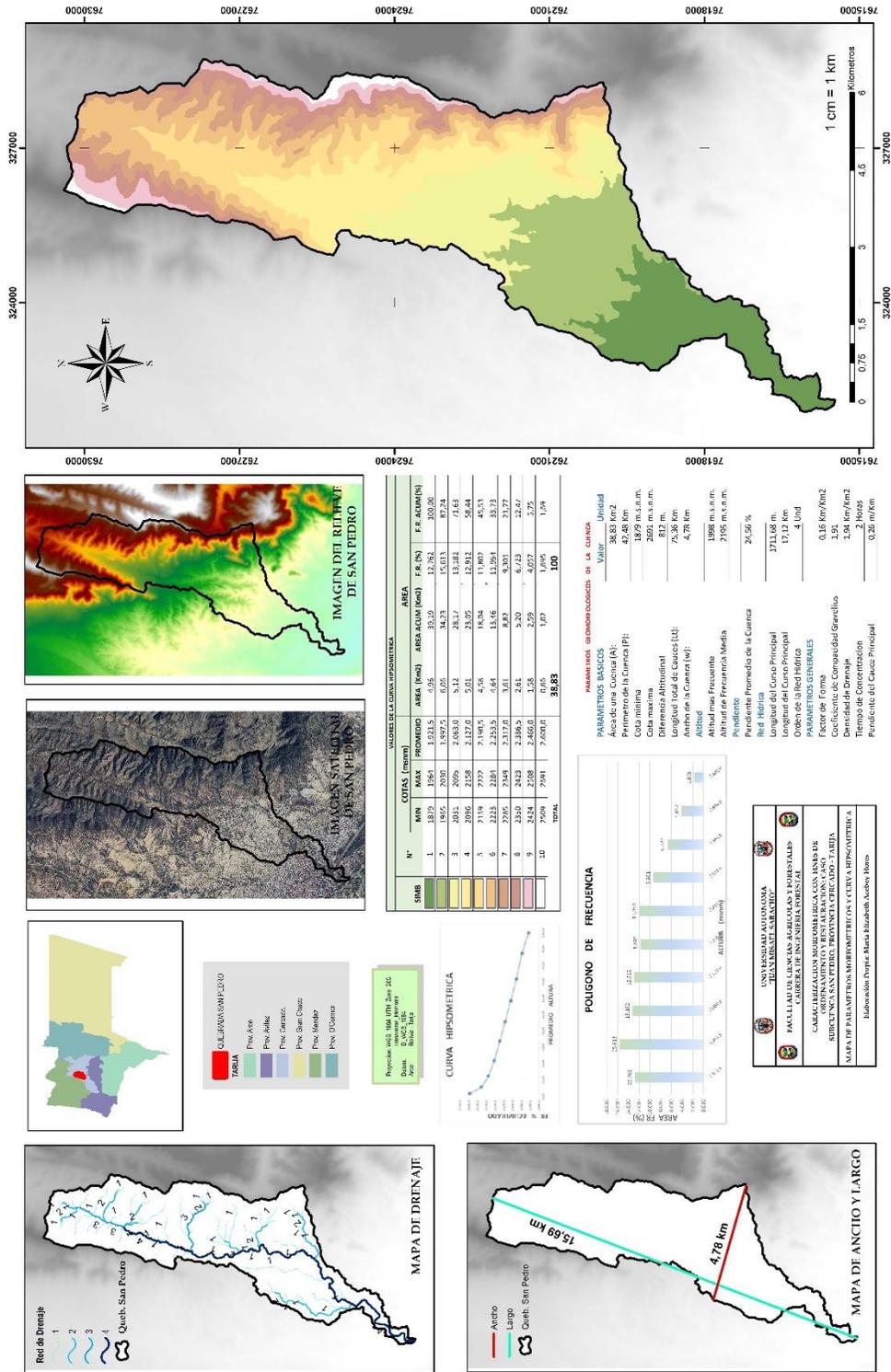
H = Diferencia de cota

P = Perímetro de la cuenca

Haciendo el cálculo de la pendiente media con su fórmula respectiva esta se dio como resultado 38,23 tomando en cuenta los datos de la diferencias de las cotas como el perímetro de la subcuenca, la cual logramos verificar en la tabla donde este rango obtenido entra en EMPINADO. (Ver cuadro N° 4)

Este factor nos ayuda a entender cómo se mueve el agua y de que manera influye en el ciclo hidrológico. Este tipo de pendiente empinado puede tener mayor escorrentía superficial y con un aumento de riesgos de erosión, con menor tiempo de concentración de las aguas y con mayor posibilidad y potencial para causar inundaciones de la zona baja del curso del río San Pedro.

Mapa N° 2. Parámetros Morfométricos y Curva Hipsométrica



3.2. Zonificación de la quebrada san pedro

3.2.1. Descripción del Mapa de pendiente:

Rango 0 – 2 %

Esta es la parte más baja de la cuenca hidrográfica, lo cual representa un pequeño parte para no decir mínimo de 2,50 % de la superficie con 97,02 ha y abarca en gran parte en la parte baja de la cuenca dispersado en pequeños puntos desde la desembocadura de la quebrada que esta forma parte de la zona urbana de la ciudad de Tarija, subiendo hasta llegar a altura de la comunidad de San Pedro, llevando un recorrido acompañando el lecho de la quebrada hasta llegar a su cabecera que se encuentra en la comunidad de San Pedro de Buena Vista.

Rango de 2 – 10 %

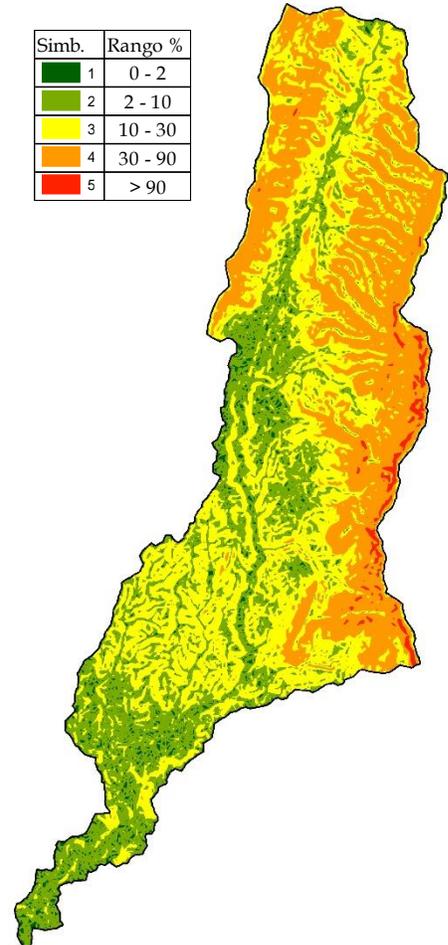
Se localiza en el sector central de la Quebrada San Pedro, abarcando de 1063,71 en ha que equivale el 27,39% del área de estudio donde este llega a ser el 3cer porcentaje mayor de las pendientes clasificadas.

En este tipo de pendiente tiene una formación de vegetación de áreas antrópicas como también de matorrales densos a ralos. Tienen un tipo de uso del suelo para pastoreo bovino, con agricultura extensiva con cultivos anuales y perennes en la parte norte y en la parte sur esta constituidos en su recurrencia de bosques implantados y un poco de agricultura.

Rango 10 - 30 %

Este rango de pendiente se encuentra distribuido en toda el área de estudio de la subcuenca de San Pedro, teniendo como 1529,39 de ha y que llega a ser el 39,39% que es el porcentaje más alto dentro de la clasificación que se realizó. En el rango de pendiente se presenta una vegetación desde bosques ralo a semidensos, matorrales

Simb.	Rango %
1	0 - 2
2	2 - 10
3	10 - 30
4	30 - 90
5	> 90



densos a ralos y vegetación herbácea rala a semidensa. Con usos de su suelo de cultivos perennes y anuales, a pastoreo extensivo con ganado mixto. En este rango también se encuentra la zona afectada por erosiones mayormente en cárcavas que están en la zona media al oeste del área de estudio.

Rango 30 - 90 %

La zona del rango ponderado se encuentra con un área de 1148,75 ha que este llega a ser el 29,58% de la subcuenca que este el 2do rango con mayor territorio en su clasificación. En esta pendiente se encuentra distribuido en la parte norte del área que están cercanas a la parte aguas o divisorias de la subcuenca. Tiene una vegetación de bosques ralos en el este de la cuenca y en el oeste de matorrales densos; este caso se da así por cuestión del tipo de exposición que tienen, con un uso del suelo de pastoreo bovino, ovino y caprino.

Rango >90 %

Este es el rango con menos área de toda la sub cuenca la cual solo cuenta con 44,10ha que es un 1,14% del área de estudio la cual se concentra en la parte este de la cuenca que es la zona de parte aguas que respecta de la red de drenaje, cuenta con una vegetación de bosque ralos y matorrales con posible pastoreo de bovinos.

Cuenca con un clima dominante de y sus temperaturas y precipitación

3.2.2. Descripción Mapa de cobertura vegetal Bosque ralo a semidenso mayormente caducifolio semideciduo montano:

Los bosques ralos están ubicados en las zonas más altas pero en lugares estratégicos que son en las uniones de las pendientes, estas dan la protección de sus suelos, pero en las zonas con mayor pendiente hay pocas especies y que son fuertes para las temperaturas de la zona.

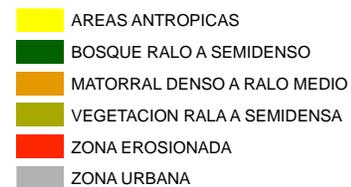
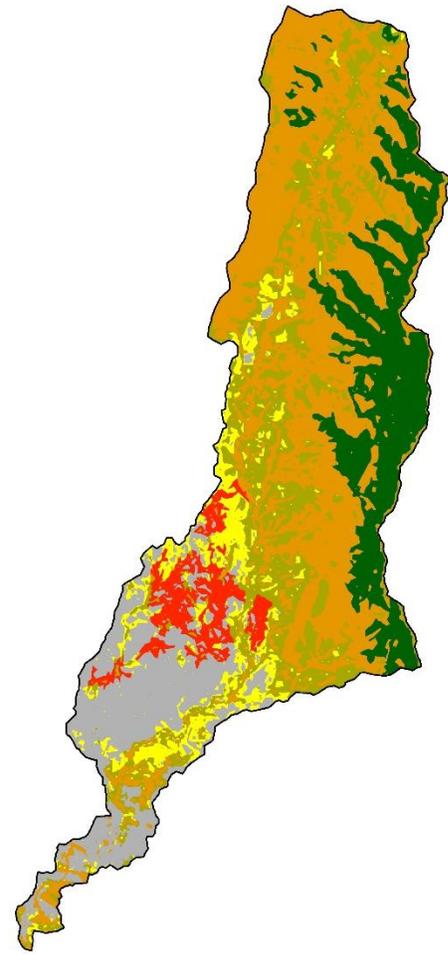
Algunas de las especies que se pueden denotar en los ralos bosque son la jarca, algarrobo blanco y el churqui amarillo que pueden sobrevivir a sus cambios de temperaturas.

Cuenta con una superficie de 638,73 que es el porcentaje de 16,45 que están ubicados en el este y noreste de la sub cuenca del área de estudio.

Matorral denso a ralo medio o mayormente caducifolio semidesiduo montano:

Los matorrales son el mayor porcentaje de vegetación que tiene la sub cuenca que cuenta con una superficie

de ha 1512,58 se encuentran ubicados en la zona este, norte y noroeste de la cuenca seguido de los bosques ralos. Contiene variedades de vegetación como los churquis de baja estatura, chilcas, tusca, que estas sirven para alimentación de los animales que son llevados a esta zonas.



Vegetación rala a semidensa graminoide baja sin sinusia arbustivo montano:

La vegetación tiene una superficie aproximado de 715,65 ha y que es el 18,43 % de la sub cuenca y están ubicados en sectores desde el este subiendo al norte de la naciente del curso de agua principal.

Se encuentra en un piso ecológico montano con clima frio semiárido, el uso de esta unidad es de importancia ya que es para el pastoreo extensivo de caprinos y ovinos; existen el atamisque, algarrobo, chilca, tusca, chañar, etc

Áreas Antrópicas:

Se localizan en pie de monte y terrazas aluviales ligeramente inclinadas a onduladas, se encuentran con una vegetación de churquis, chañar, molles y tusca y especies arbustivas y hierbas anuales. Se practica la agricultura con cultivos de maíz, papa, hortalizas y algunas especies frutales. Existen también la construcción de potreros para el encierro de los animales.

Esta zona está caracterizada por tener 289,74 en ha que llega a ser el 7,46 % del área de estudio.

Zona Erosionada:

La zona erosionada se encuentra varias formaciones de cárcavas donde su vegetación es bastante escasa gracias a la degradación del suelo, se pueden apreciar algunos churquiales en los alrededores como también pocas chilcas. Lamentablemente esta zona es bastante pobre respecto su vegetación.

Esta zona consta de 181,96+ ha que resulta ser 4,69 % de la sub cuenca de San Pedro que es el área de estudio de importancia, está ubicada al continuar de la zona de urbanización de la ciudad de Tarija.

Zona Urbana:

Esta está referido a la población o ara urbana, la mayor parte de la zona urbana de la quebrada se encuentra al sur que es parte de la ciudad de Tarija.

Se encuentran a la rivera del río de San Pedro pequeños sectores de bosques implantados y regenerados naturalmente, en los cuales se pueden encontrar desde sauces criollos, sauce llorón, molles, eucaliptos, tusca, jarca y churquis.

3.2.3. Descripción del Mapa de uso actual

Bosque implantado:

Se ubica en la desembocadura de la quebrada San Pedro donde está sobre tierras fluvio lacustres, son pequeños bosques establecidos al borde de la quebrada para evitar deslizamientos de tierra y evitar la erosión en bordes de esta quebrada ya que está en medio de la urbanización de la ciudad de Tarija, esta cuenta con 35,70 ha que llega a ser un porcentaje de 0,92%.

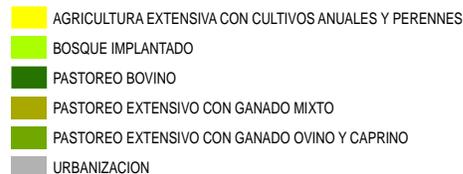
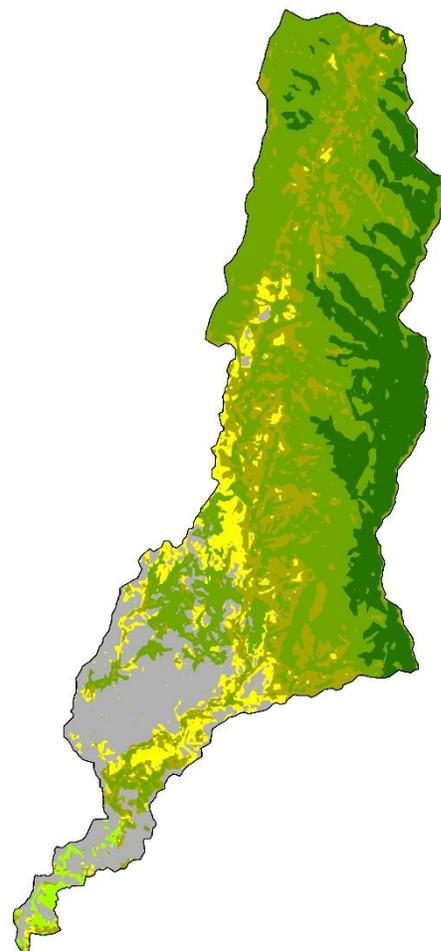
Pastoreo con ganado bovino:

Se localiza en el límite este de la sub-cuenca en las serranías ubicadas cerca del parte aguas de la misma la cual corresponde con una superficie de que llega a ser el 638,73 ha que es el 16,45% del área de interés de estudio

Esta unidad ocupa paisaje de laderas cubiertas con vegetación desde bosques ralos a matorrales donde su erosión es ligera

Pastoreo extensivo con ganado ovino y caprino:

Esta unidad se encuentra de la parte media al norte de la sub-cuenca cuenta con una superficie 1664,42 ha de que es el 42,86% del área de estudio localizándose las comunidades próximas de San Pedro y San Pedro de Buena Vista.



Esta forma de ocupación espacial abarca paisajes de laderas cubiertos con vegetación de matorrales densos y vegetación rala a semidensa

En este grupo de uso de suelo se encuentran las tierras que presentan intensos procesos de erosión como ser cárcavas donde en estas hay poca presencia de vegetación.

Pastoreo extensivo con ganado mixto:

Se ubica en diferentes sectores de la sub cuenca, la mayor parte se encuentra en las zonas próximas a las comunidades de san pedro y san pedro de buena vista comprendido con una superficie de 712,55ha que es el 18,35%

Se presentan paisajes de laderas con una vegetación de y con rasgos de erosión ligera a moderada. La forma de uso se caracteriza por el pastoreo extensivo permanente de pequeños hatos de ganado mixto (bovino, caprino y ovino), por encontrarse en sectores cercanos a las diferentes comunidades, se tiene perdida de la cobertura vegetal.

La consecuencia es la disminución de la protección del suelo induciendo procesos de degradación del suelo y originando procesos de erosión laminar y cárcavas severas y movimientos de masas en las laderas

Agricultura extensiva con cultivos anuales y perennes:

La agricultura extensiva demanda un bajo empleo de insumos y capital, mientras que la intensiva se caracteriza por un alto empleo de insumos y capital.

La agricultura tiene lugar en pi de montes y en llanuras la cual cuenta con una superficie 289,73 ha de que es el porcentaje 7,46% de la sub cuenca de san pedro en esta forma de uso se tiene al maíz como cultivo principal seguido por el tomate q y otros. Las diferentes actividades en la preparación del terreno se los realiza mayormente con la ayuda de lo que se llama yunta de bueyes que es el arado de palo y la mano de obra de los dueños los residuos de la cosecha se almacena para forraje en época de estiaje o época seca.

Urbanización:

Esta está referido a la población o ara urbana, la mayor parte de la zona urbana de la quebrada se encuentra al sur que es parte de la ciudad de Tarija y en la zona norte pequeños pueblos como ser san pedro y san perro de buena vista. Esta área de la sub cuenca cuenta con una superficie de 541,84ha que llega a ser el 13,95% del área de estudio

3.2.4. Descripción del Mapa de erosión

Erosión Severa:

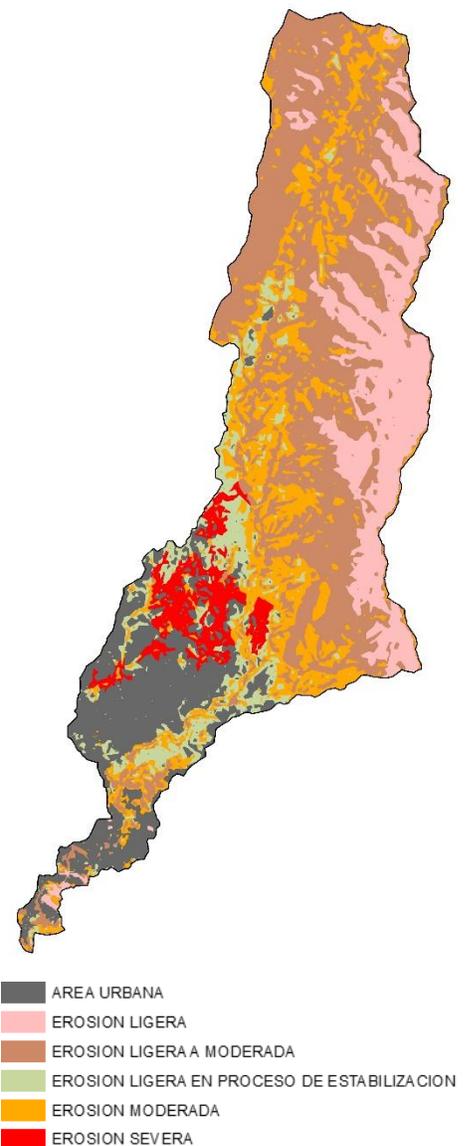
Las principales referencias se encuentran localizadas en la zona sur oeste de la sub cuenca, donde tiene un alto riesgo geológico la cual abarca una superficie de 181,96ha que esta consta de un porcentaje de 4,69%.

Esta unidad tiene depósitos de sedimentos de arcilla y limo con un relieve quebrado totalmente disectado por cárcavas profundas relieve fuertemente ondulado con pendiente moderadamente escarpadas a fuertemente inclinadas que limitan en sus partes superiores con pies de laderas y sedimentos coluvio aluvial y en la inferior con terrazas.

Erosión Moderada:

En la zona de erosión moderada se encuentra paisaje montañoso en su parte inferior colinda con los sedimentos coluvial o lacustre. Litológicamente pertenece a santa rosa, tarabuco, huamampamapa con limolitas, areniscas y lulitas fuertemente intemperizadas.

Abarca una superficie de 715,62ha que llega a hacer el 18,43% este se encuentra mayormente en zonas con vegetación de matorrales y donde



son zonas antrópicas y áreas de pastoreo mixto en la parte superior en la inferior es al borde de la quebrada san pedro.

Erosión Ligera a Moderada:

La zona se encuentra en la parte noreste norte y nor oeste de la sub cuenca con la cual cuenta con una superficie de 1501,94ha que es un 38,68% del área de estudio, estas zonas están caracterizadas por tener matorrales, vegetación herbácea como pequeños sectores de bosques ralos en los cuales sus suelos son puestos en uso de pastoreo de ovino y caprino.

Presenta un aspecto típico de pie de monte con un complejo de abanicos, contiene graba, arena, limo y arcilla íntimamente mezclados cuya roca madre es areniscas, areniscas limosas y lulitas silúricas de la formación de Tarabuco y de santa rosa

Erosión Ligera:

La superficie que compone esta clasificación de erosión es de una superficie de 649,52ha que es 16,73% de la sub cuenca san pedro; esta cuenta con bosques ralos a matorrales densos los cuales ayudan en la erosión del suelos a pesar de las practicas indiscriminadas del pastoreo del ganado bovino, esta cuenta con una superficie de que está ubicado en el sur este, este y noreste del área de estudio.

Las zonas presentan un alto grado de deterioro por la fuerte presión ganadera por esta razón hay eliminación de la cobertura vegetal y los procesos erosivo muy acelerados y escorrentía superficial.

Erosión Ligera en proceso de Estabilización:

Esta zona se localiza en la parte cercana del lecho del rio de la quebrada san pedro mayormente donde se encuentran los cultivos o áreas antrópicas, esta se encuentra con una superficie de 289,74 ha cual es el 7,46% de la sub cuenca.

Vienen a constituir terrazas aluviales con pendientes planas o casi planas bien drenados con poca pedregosidad en superficie, los procesos de erosión laminar y en surcos son

prácticamente nulos, pero amenazados por desborde de ríos ocasionando erosión de las riveras.

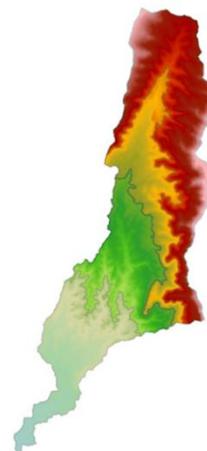
Área Urbana:

Esta está referido a la mayor parte de la zona urbana que se encuentra al sur que es parte de la ciudad de Tarija y en la zona norte pequeños pueblos o comunidades. Esta área de la sub cuenca cuenta con una superficie de 544,18ha que llega a ser el 14,01 % del área de estudio

3.2.5. Reclasificación según la Zonificación de la Sub cuenca de San Pedro:

La zonificación de la Sub cuenca de San Pedro es esencial para poder hacer un manejo y conservación adecuado de esta red de drenaje que hace parte de la zona urbana de la ciudad de Tarija el cual desemboca en la cuenca del Rio Guadalquivir.

Con las características ya descritas de las diferentes variables (pendiente, vegetación, tipo de erosión y en especial el uso de la tierra) se hizo el análisis para las cuales nos sirva de guía para poder saber proponer correctamente que tipos o clases de técnicas de restauración y protección se deben aplicar para cada una de las zonas clasificadas.



Se hizo la diferenciación por partes de zona de la subcuenca como se observa en el cuadro de clasificación las cuales existen 4 categorías puestas con el tipo de rango de riesgo de erosión.

Cuadro N° 13: Clasificación de la Zonificación de la Sub cuenca San Pedro

SIMB.	ZONIF. DE RIESGO	DESCRIPCION	AREA KM2	%
	Zona riesgo bajo	Cuenca Alta	14,68	37,81
	Zona riesgo moderado	Cuenca Media	7,55	19,45
	Zona riesgo alto	Cuenca Baja	8,08	20,80
	Zona urbana	Zona Urbana	8,52	21,94
TOTAL			38,83	100,00

3.2.5.1. Zona de riego bajo:



La zona de riesgo se encuentra ubicada en la parte este y noreste de la sub-cuenca San Pedro donde este está compuesto por bosque y matorral semidenso a ralo mayormente caducifolio semidesiduo montano con pastoreo bovino que una pendiente muy fuertemente escarpado a extremadamente escarpado.

La zona cuenta con un área 14,68 km² que es el 37,81% de la sub-cuenca. Cuenca con una temperatura promedio anual de 14,5°C la precipitación media anual de 565mm, tiene una altura que oscila desde los 2600 a 2300 msnm aproximadamente. Son una cadena de montañas encontrándose con climas de frío semiárido el cual determina un potencial producción forrajera.

Tomando estas características se consideraron proponer las siguientes técnicas de restauración y conservación:

- **Manejo sostenible de ganado.**

Implementar prácticas que reduzcan el impacto del pastoreo en las áreas cercanas a la cabecera como la rotación de pasturas que pueden ayudar a prevenir la degradación el suelo, se enfoca en prácticas ganaderas que buscan optimizar la producción y el bienestar animal, al mismo tiempo que minimizan el impacto ambiental y promueven la conservación de los recursos naturales, donde se pueden realizar la rotación de pasturas para que se pueda permitir que la vegetación se recupere y o regenere.

Aunque esta práctica de pastoreo es extensivo es necesario hacer el manejo respectivo ya que las cabeceras de las cuencas son el origen para que exista un buen ciclo del agua y se evite el deterioro del suelo.

- **Reforestación.**

Plantar árboles nativos y vegetación en áreas degradadas que ayuden estabilizar el suelo y mejorar la infiltración de agua proporcionar hábitats para la fauna.

Esta práctica es fundamental para la conservación de la biodiversidad y la estabilidad del suelo, como el control de la erosión donde las raíces de los árboles actúan estabilizadores del suelo donde se evitan un buen porcentaje de deslizamientos.

Se puede realizar la reforestación con siembra directa; donde se hace la actividad de plantar las semillas directamente en el terreno. O hacer la plantación de plántulas; donde se usan plántulas cultivadas en viveros para asegurar un mejor inicio de vida de los futuros árboles. Y en especial se debe tener prioridad el hacer la reforestación con especies nativas del lugar para que haya una mayor probabilidad de vida de los plantines dirigidos a la zona.

- **Presas Y Atajados:**

"presas de contención, se utilizan técnicas de ingeniería hidráulica que buscan ralentizar el flujo de agua, reducir la erosión y facilitar la infiltración en el suelo. Estas estructuras se construyen a lo largo de canales o en pendientes, utilizando materiales como piedra, tierra o madera, dependiendo de la disponibilidad y el tipo de terreno.

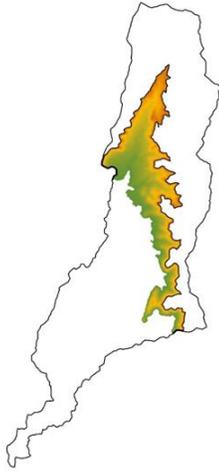
Se debe realizar un análisis del terreno, el tipo de suelo, la pendiente y la velocidad del flujo de agua para determinar la ubicación, el tamaño y el tipo de presa o tajado más adecuado

Se realiza una excavación en el terreno y se utiliza el material elegido (piedra, tierra, madera, etc.) Es importante realizar un mantenimiento regular

3.2.5.2. Zona de riesgo moderado:

Esta zona se puede hacer denotar las siguientes características como ser que existen áreas antrópicas con cultivos anuales y perennes y que cuentan con una pendiente

inclinada a ligeramente inclinado. Con una temperatura de 17,2 °C promedio anual y un clima de semiárido a árido.



Constituido por pie de monte ligeramente inclinado a inclinado. La zona está distribuida de este a oeste de la cuenca donde se hace parte de la cuenca media del curso de agua de San Pedro y cuenta con 7,55 km² que es el equivalente del 19,45% de San Pedro tiene una elevación de sus cotas de 2100 a 2000 msnm, se conforma desde matorrales densos a ralo medio mayormente caducifolio, Esta zona se caracteriza con el uso de pastoreo extensivo con ovino y caprino con una pendiente moderadamente escarpado Ya con la información ya mencionada se dispuso a proponer las

diferentes acciones que son las siguientes para su conservación de esta zona:.

- **Roturación.**

Consiste en la ruptura y fragmentación, en franjas, de la capa compactada y endurecida que se encuentra en la parte superficial o subsuperficial del suelo. Esta actividad se realiza con maquinaria especializada como ser el bulldozer con ripper integrado, aperos de labranza, rodillo o inclusive tractores con el accesorio adecuados y permite el desarrollo de la vegetación natural o establecimiento de plantaciones forestales.

Esta obra se recomienda realizar en terrenos con suelos delgados o con capas superficiales endurecidas con pendientes menores al 20% en áreas desprovistas de vegetación, así como sobre suelos secos. Este tipo de trabajo se realiza para una mayor protección y aprovechamiento de los suelos que son utilizados para cultivos

La roturación es para facilitar la plantación de especies y recuperación de vegetación por lo que no es necesario trabajar total de la superficie sino solo franjas sobre las cuales se realizará la plantación, dichas franjas son separadas según la densidad deseada

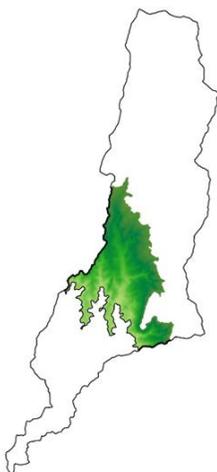
- **Sistema zanja bordo.**

Son estructuras diseñadas para controlar la erosión del suelo y mejorar la retención de agua. Son un conjunto de zanjas y bordos continuos en curvas de nivel, colocando el producto de la excavación aguas debajo de la zanja para formar al bordo ayuda a reducir la velocidad del agua que corre y prevenir la pérdida de suelo fértil.

- **Presas de piedra acomodada.**

Consisten en el recubrimiento con material inerte como piedras o material vegetal muerto que tiene la finalidad de disminuir la inclinación de la entrada de la escorrentía en la cárcava, además de proteger los suelos después del recubrimiento del talud para amortiguar la energía de la caída de la corriente. Su construcción se enfoca en disminuir la pendiente de la entrada a la cárcava que comúnmente es de 90 grados a una pendiente que no cauce erosión la cual se ha determinado en ángulos de inclinación menores de 45 grados.

3.2.5.3. Zona de riesgo alto:



La zona de riesgo moderado se encuentra una vegetación de matorral denso a ralo medio o mayormente caducifolio semidenso montano con pastoreo extensivo de ganado ovino y caprino que está en la parte de la sub cuenca con una pendiente moderadamente escarpado a ligeramente, donde se encuentra la mayor parte afectada de erosión en cárcavas y surcos, donde la zona urbana está muy cercana afecta por el cambio de uso brusco que se está llevando en la zona, esta cuenta con una vegetación semidensa a rala graminoide baja sin sinusia arbustiva montano.

Con un clima que deriva desde frío semiárido a templado árido y con su temperatura que oscila de 14 a 17 °C. Comprende del 20,80% de la sub cuenca que tiene 8,08 km²; para esta zona se tomó en cuenta proponer como prácticas de restauración:

- **Terrazas de piedra.**

Son una técnica muy interesante y efectiva para la restauración y conservación de suelos, especialmente en áreas montañosas o con pendientes pronunciadas. Estas estructuras ayudan a reducir la erosión del suelo al crear escalones que retienen el agua de lluvia y permiten que se infiltre, en lugar de escurrirse rápidamente.

Las terrazas pueden mejorar la fertilidad del suelo al permitir la acumulación de materias orgánicas y nutrientes. También es una forma tradicional de cultivos en muchas culturas lo que muestra la eficacia a lo largo del tiempo. Se pueden realizar en pendientes que oscilan entre 10 y al 50 %.

- **Presas de morillos.**

Son estructuras utilizadas en la conservación de suelos que son propensas a la erosión. Son postes o troncos de diámetros mayores de 10 centímetros, productos de ramas o troncos que resultaron de afectaciones por incendios o plagas. Este tipo de presa se construye en cárcavas pequeñas y angostas en las que es posible detener el crecimiento y estabilizar con prácticas sencillas y de bajo costo.

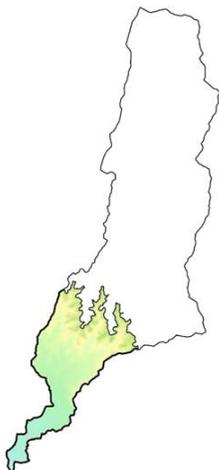
- **Presas de geocostales.**

Es una estructura de geocostales que son sacos llenados con suelo, que se coloca en forma de barrera o trinchera distribuida de manera perpendicular a la dirección del flujo de la corriente, para el control de la erosión en cárcavas.

Se utilizan para controlar la erosión hídrica y reducir la velocidad de escurrimiento superficial, estabilizar el fondo de cárcavas, favorecer a la acumulación de sedimentos, filtrar agua y disminuir el azolve de cuerpos de agua.

Deben partir de la localización y medición de cárcavas, construir zanjas para el empotramiento formar la barrera de geocostales y calcular el espaciamiento entre presas.

3.2.5.4. Zona Urbana:



La zona es la parte de la sub cuenca que es parte del área urbana de la ciudad de Tarija y donde llega la desembocadura del río de San Pedro esta cuenta con una superficie de 8,52 km² que es el 21,94% del área de la sub cuenca, esta cuenta con una pendiente de plano a casi plano. Con un clima templado árido a templado semiárido con temperaturas anual de 17°C. Se tienen propuestas para un mejor manejo del área, el cual hace más participe a cada ciudadano de Tarija, los cuales son:

- **Reforestación Urbana:**

Plantar árboles y vegetación nativa en espacios públicos que ayuden a estabilizar el suelo, prevenir la erosión y mejorar la calidad del aire donde se encuentran la ribera del curso de agua para que su erosión y pérdida de suelo se disminuya.

- **Jardines de lluvia:**

Son áreas diseñadas para capturar y filtrar de agua de lluvia, permitiendo que se infiltre en el suelo en lugar de escurrirse hacia los desagües. Ayudan a reducir la erosión y mejorar la calidad de agua.

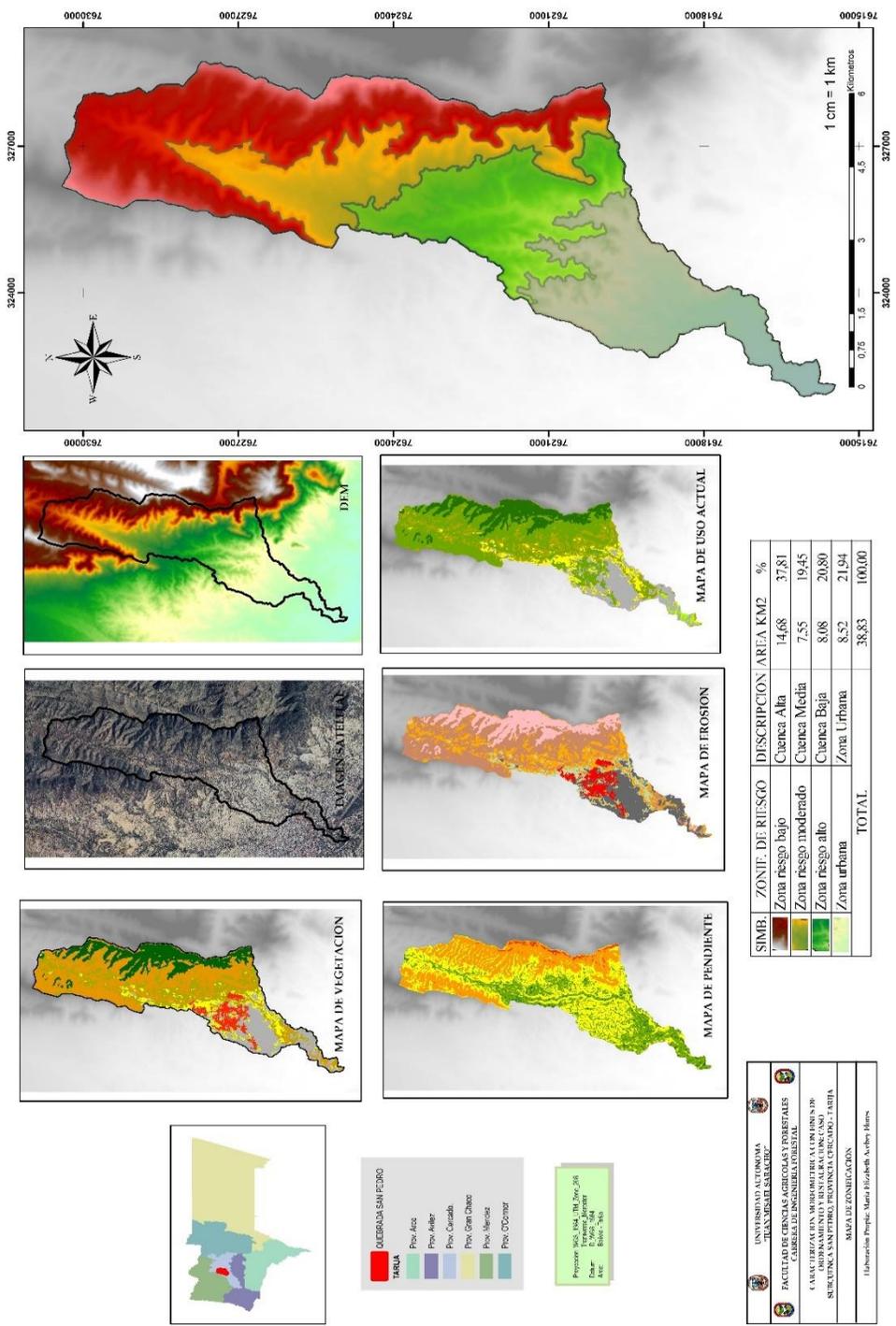
- **Educación comunitaria:**

Realizar los talleres y actividades educativas sobre prácticas sostenibles puede fomentar una mayor conciencia sobre la importancia de la conservación de suelos urbanos.

- **Reparos:**

Estas son las intervenciones diseñadas para estabilizar y proteger las riberas de un cauce de agua minimizando la erosión, estas acciones son para prevenir deslizamientos de tierra y mantener la calidad del agua. Se evalúa el estado del curso de agua y ver donde se encuentran las zonas críticas, se hacen la construcción de muros de piedras como también es necesario hacerse mantenimientos de las misma por causa de cualquier deterioro de la misma.

Mapa N° 3. Zonificación de la Sub cuenca San Pedro



LEGENDA

DEBERIAS SAN PEDRO

- Prov. Atzo
- Prov. Abasco
- Prov. Comitán
- Prov. San Cristóbal
- Prov. Marabá
- Prov. Ocosingo

Proyecto: "Mapa de Uso, Pendiente, Riesgo y Vegetación de la Subcuenca San Pedro"

Elaborado por: [Nombre]

Año: 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN CRISTÓBAL DE LA JAMAICA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS Y FORESTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

SUBCUECA SAN PEDRO, PROVINCIA CHIQUIGUASTÁN, CHIQUIGUASTÁN

MAPA DE ZONIFICACION

Elaborado por: María Elizabeth Acuña Méndez

3.3. DISCUSIÓN

El presente trabajo de proyecto de tesis se centró en el análisis morfométrico y de restauración de la sub cuenca de San Pedro con el objetivo de evaluar su estado y proponer estrategias para lograr hacer un buen manejo y tener una información para futuros trabajos a realizar en la zona.

Los resultados obtenidos indican que esta sub cuenca estudiada presenta característica como ser un área de 38,83 km² donde nos hace referencia que es una cuenca pequeña; y donde podemos hacer una comparación con el trabajo de **Determinación de los parámetros morfométricos e hidrológicos de la cuenca del río Tolomosa / Altamirano Jimenez, Ana Gabriela** donde su zona de estudio la cuenca de Tolomosa es de 436,72 km² y donde se encuentra entre las cotas de 4607msnm Max y 1849msnm min, un factor de forma que indica que esta forma alargada y pendiente del cauce es moderadamente inclinado a diferencia de San Pedro tiene su elevación de san pedro esta entre su max.2691msnm y min 1879msnm de forma estrecha y su pendiente del cauce es empinado. puede analizar que su dimensiones son muy diferentes en gran magnitud lo cual hace notar que estas cuencas tienen comportamientos muy diferentes dentro de su red de drenaje, en San Pedro hace resaltar una vulnerabilidad debido a los factores como deforestaciones, contaminación y la gran velocidad que la mancha urbana crece con el pasar del tiempo. Donde se puede observar perdida de cobertura vegetal que contribuye a la erosión del suelo y la disminución de la calidad del agua.

Se puede hacer mención también las prácticas agrícolas intensivas que afectan negativamente a la diversidad de la cuenca, sin embargo es importante reconocer las limitaciones de este estudio, lo que puede no reflejarla diversidad de situaciones presentes en otras regiones.

Por eso era necesario hacer la zonificación acorde al estado actual y el uso de la tierra, ya que la sub cuenca de San Pedro tiene una red de drenaje que tiene poca capacidad de infiltración de las aguas, y con las actividades sin control hacen que el suelo se degrade y la perdida de suelo y su capacidad de que haya un ciclo hidrológico adecuado

no exista y se generen problemas ambientales o disminuir su intensidad, ya que este curso de aguas se desemboca en el río Guadalquivir y pasa por medio de la zona urbana de la ciudad de Tarija.

La investigación resalta la importancia que se debe tener en cuenta sobre el manejo integral de las cuencas como una estrategia clave para la conservación de los recursos importantes como es el agua. Es recomendable que se lleven estudios adicionales que aborden el tema del cambio climático y el impacto que surge en el ecosistema y donde se puedan involucrar las comunidad y familias que son parte del área de estudio que es la sub cuenca de San Pedro para que se puedan promover prácticas sostenibles para el bienestar humano y como también el ambiental.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

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

- La cuenca de la quebrada de San Pedro rio tiene un área de 38,83 Km², perímetro de 42,48 km y está conformada por una red de drenaje que está constituido por 4 órdenes desde el rio principal como nacientes.
- El factor de forma (0.15) y el coeficiente de compacidad (1.91) indican que la cuenca tiene forma oval_ oblonga _alargada. Teniendo en cuenta este resultado la cuenca no debería presentar riesgos de desbordamiento, sin embargo, debido a la escasa cobertura vegetal; la velocidad del agua de lluvia aumenta provocando desbordamientos y daños a los cultivos cercanos en la zona norte de la sub cuenca como la zona urbana de la ciudad de Tarija.
- Sacando los cálculos sobre el índice de alargamiento del área de estudio dio como resultado 3,28 que hace característico el valor dentro de la categoría de una subcuenca achatada, que cuenta con un drenaje moderado.
- De acuerdo a la curva hipsométrica se determinó que la subcuenca del rio San Pedro encuentra en equilibrio y en una fase de madurez.
- Se elaboraron los mapas temáticos respectivos tales como mapa de ubicación, mapa del ancho y largo de la cuenca, mapa de pendientes mapa red de drenaje.
- Su pendiente media del cauce es de 38,23 y está categorizado como empinado, que es su característica en su zona alta y media de la sub cuenca.
- El tiempo de aporte del agua de escorrentía si lloviera en las cabeceras, el agua de escorrentía tardaría aproximadamente 2 Hrs en llegar al desemboque
- Este parámetro de relieve consiste en una transformación geométrica que determina la longitud mayor y menor que tienen los lados de un rectángulo cuya área y perímetro son los correspondientes al área y perímetro de la

cuenca. Los cuales sus valores de la longitud mayor 19,29 y su longitud menor 2,02.

- esta cuenca se encuentra entre las cotas de 3436 a 1236 msnm.

Los parámetros morfométricos de la cuenca juegan un papel importante para comprender las características físicas de la cuenca y se pueden utilizar en estudios de gestión de recursos hídricos, modelado de inundaciones y restauraciones de la sub cuenca.

1. La zonificación hecha en la sub cuenca San Pedro; teniendo en cuenta variables importantes como ser su pendiente, vegetación, el tipo o rango de erosión y el uso actual de la tierra fueron detonantes imprescindibles para poder identificar las zonas más críticas como también más leves tomando en cuenta y haciendo la división de parte alta media y baja de la cuenca y como cuarta categoría se colocó la zona urbana que se encuentran en el lugar de estudio, cada una de ellas tiene sus características muy marcadas las cuales muestran el rango de degradación que tienen y cuáles serían las actividades o estrategias que se debe tomar para su protección y restauración de cada una de ellas.

Zona de bajo riego que es la zona alta de la cuenca se hizo la propuesta de hacer manejo sostenible de ganado y la reforestación con plantas nativas como igual preso y atajado. Zona de riesgo moderado se hizo la propuesta de la rotulación, sistema de zanjas a bordo y presas de piedra para que se pueda hacer un equilibrio sobre las zonas de posible erosión. y la zona más afectada que es la zona de muy alto riesgo terrazas de piedra. Persas de morrillo o presas de piedra acomodada y de geocostales y como último se tomó en cuenta la zona urbana que es parte de la hermosa ciudad de Tarija con las actividades de reforestación urbana, jardines de lluvia, la educación acomunaría como también los reparos en las orillas del rio para evitar perdida de suelo cuando sus afluentes lleguen en época de lluvia.

Todas estas técnicas o actividades mencionadas pueden llevarse a cabo ya que el material utilizado es accesible y puede llegar a tener muy buenos resultados haciendo un seguimiento adecuado y en el tiempo respectivo para su mantenimiento y este es requerido.

4.2. RECOMENDACIONES

La combinación de los estudios de parámetros morfométricos y la zonificación que se le hizo a la sub cuenca San Pedro que son los objetivos principales de este proyecto nos da una comprensión completa de la características de la cuenca, como se distribuye y se mueve las aguas dentro de la cuenca e identificar las zonas críticas conservación gestión del agua.

- Promover un enfoque de MIC que involucre a las comunidades locales, autoridades para promover como invertir en infraestructuras de restauración de las quebradas y más si están interceptan con la zona urbana de la ciudad de Tarija.
- Analizar e Implementar las técnicas mencionadas en el documento para hacer un mejor manejo de la Sub cuenca San Pedro, y amortiguar las zonas erosionas como también las que están en proceso de erosionarse, para evitar tener menos porcentaje de suelo perdido dentro del área ya que este curso de agua llega a desembocar a una cuenca mayor.
- Sensibilizar a la población sobre la importancia de lo que son las cuencas y como se puede contribuir a su conservación.
- Realizar estudios periódicos para evaluar el estado de la sub cuenca y poder ajustar las estrategias de gestión según sea necesario
- Se recomienda a las instituciones encargadas del desarrollo rural promover talleres que informen sobre la importancia de la preservación y conservación de los recursos naturales (agua, vegetación, suelos, etc.) y más en las cabeceras de la cuenca.