

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento y la ocupación de la población humana del Valle Central de Tarija en los últimos años, han provocado un mayor uso de materia y energía procedentes de los ecosistemas naturales. Persiste la demanda de tierras y se observa que los hogares rurales, dependen en gran medida de los productos naturales y de la producción agrícola, esta combinación de elementos ha provocado la ocupación de tierras para usos agropecuarios, aumentando el espacio territorial en asentamientos humanos.

El fenómeno de crecimiento desmedido, ha tenido como consecuencia mayor presión sobre los recursos naturales, las actividades sociales y económicas han impactado en el uso de los mismos, teniendo efecto en la degradación del ambiente, como es el caso de la subcuenca “El monte” con erosión hídrica de todos los grados y formas, debido a que sus suelos son de origen lacustre, compuestos por sedimentos finos como arcilla, limos altamente susceptibles al fenómeno de la erosión, el cual fue acelerado por la escasa cobertura vegetal, inadecuado sistema pastoril, mal uso de los suelos, entre otros factores hasta llegar a estados de degradación extremas. En este sentido, el análisis de los cambios en el uso de la tierra, permite representar el panorama de amenaza para la naturaleza o de buen manejo de los recursos naturales.

En el ámbito mundial, las técnicas de teledetección han sido utilizadas en la identificación de cambios en la cobertura y el uso de la tierra; esta valiosa tecnología sirve para el monitoreo de fenómenos naturales u otras modificaciones que experimenta una región, como consecuencia de la intervención del hombre (Muchoney&Haack, 1994; Chuvieco, 1996; Lambin, 1996).

## **Justificación**

La justificación e importancia de este estudio, radica en la necesidad latente del conocimiento del cambio de cobertura y uso del suelo, con frecuencia ligados a fuerzas sociales, económicas y políticas, han presentado implicaciones estructurales y funcionales sobre los ecosistemas, sirviendo éste conocimiento de base para la elaboración de los escenarios futuros probables de los recursos existentes, y al mismo tiempo, proporcionar una herramienta que facilite la planeación del desarrollo regional en un contexto de sustentabilidad.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Comparar y analizar los principales cambios de cobertura y uso de la tierra actuales, haciendo el uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales, tomando como información correspondientes de los años 1995 y 2011, con el fin de adquirir conocimiento y proporcionar una herramienta que facilita la planificación del desarrollo de la región.

### **Objetivo específico**

- Analizar la dinámica de cambio en el Uso del Suelo entre 1995 y 2011 mediante técnicas de percepción remota.
- Elaborar mapas para la clasificación, la pérdida de la cobertura y áreas de uso actual utilizando la tecnología del SIG.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### **1.1. Cuencas hidrográficas.**

#### **1.1.1 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 micro cuencas.

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 biomásas 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

promediode 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 CorineLandCover (CLC).**

Corinelandcover (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).

La nomenclatura nacional y/o regional de CLC está organizada en tres niveles; pero un cuarto nivel puede ser añadido según el grado de detalle, los objetivos y escala de trabajo utilizados (CEC, 1993).



**Cuadro 1. Unidades de coberturas y uso de la tierra, de acuerdo con la metodología CorineLandCover adaptada para Colombia.**

<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	3.1. Bosques
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	3.2.1.1. Herbazal denso
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.1.2.3. Arracachal
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.1.2.4. Helechal
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.2. Caña	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.4. Tabaco	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.5. Papaya	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.6. Amapola	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.2. Café	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.4. Viñedos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.5. Coca	<b>4. AREAS HÚMEDAS</b>
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	4.1. Áreas húmedas continentales
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.2. Turberas
2.2.3.3. Cítricos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.4. Mango	4.2. Áreas húmedas costeras
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.2. Salitral
2.3. Pastos	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3.1. Pastos limpios	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>
2.3.2. Pastos arbolados	5.1. Aguas continentales
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.1. Ríos (50 m)
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.3. Canales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5.2. Aguas marítimas
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

### **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 pixel 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 (Chuvieco, 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 (geoformas) 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 representan 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 (Chuvienco, 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 (Chuvienco, 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 MÉTODOS**

#### **2.1 Descripción de la zona de estudio.**

##### **2.1.1 Localización y ubicación geográfica.**

La subcuenca El Monte se encuentra en la parte central valle de Tarija; aproximadamente a 30-40 minutos de la capital. Limita al norte y oeste con la subcuenca del río Sella, al este con la subcuenca del río San Pedro, al sud con la ciudad de Tarija. La ubicación geográfica entre las coordenadas geográficas 21°31'54" latitud sur, 64°43'52" longitud oeste y una altitud 1.854 msnm.

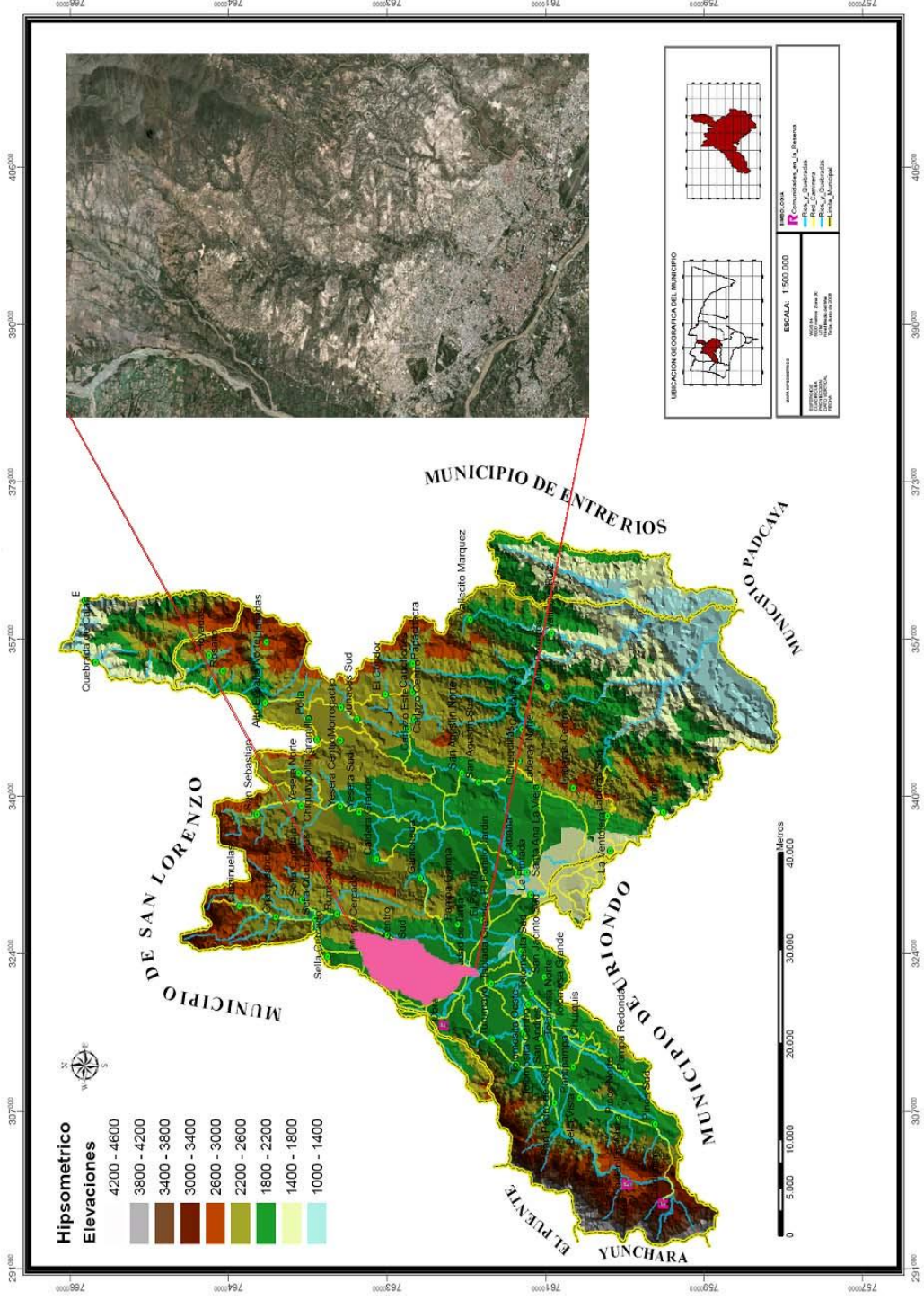


Figura 1. Zona de estudio de la subcuenca El Monte

## **2.1.2 características biofísicas.**

### **2.1.2.1 Fisiografía.**

La fisiografía de la subcuenca se divide en dos zonas morfológicas; la alta de montaña y la del Valle. Que predomina gran porcentaje del Valle; la cual tiene características muy pronunciadas 25 a 55%; cuyos terrenos se asientan en terrazas aluviales recientes y subrecientes en un porcentaje mayor al 60% de la superficie, en la parte más elevada en terrazas antiguas disecadas y abanicos aluviales (PERTT 1993).

### **2.1.2.2 Clima.**

Tomando como base de precipitación, la estación Monte Sud y temperatura de la estación El Tejar (Tarija), el clima de la subcuenca es templado semiárido.

### **2.1.2.3 Precipitación.**

La subcuenca tiene una sola estación pluviométrica ubicada en Monte Sud entre los paralelos 21 ° 25' de latitud Sud y 64 ° 42' de longitud Oeste, a una altura de 2005 m.s.n.m.

El mapa de isoyetas nos muestra las variaciones hacia la parte alta, con una precipitación media anual de 575 mm.

### **2.1.2.4 Temperatura.**

Tomados de la estación Tarija, la temperatura media anual periodo Octubre – Marzo es de 19, 8 ° C; el periodo seco tiene una media de 13,1 ° C, con la máxima media de 26,1 ° C, mínima media de 9.4° C, se tiene en verano extrema máxima de 39.4° C, y extrema mínima de invierno de -8.6° C.

### **2.1.2.5 Geología y geomorfología.**

Las formaciones paleozoicas, afloran en la parte alta de la subcuenca, está representada por el sistema ordovicido constituido por areniscas y cuarcitas con

intercalaciones de límites, formando un conjunto de laderas con diferentes grados de erosión.

Las formaciones de origen cuaternario, en la subcuenca son de origen coluvial, lacustre y aluvial constituida por arcillas, limos, arenas y gravas, que definen las siguientes reformas: Depósitos coluvio –aluviales, ocupan la parte intermedia y superior de la subcuenca, los depósitos lacustres, constituyen una llanura fuertemente disectada, que alcanzando un 79% de la subcuenca constituida principalmente por arcillas y limos con intercalaciones de arenas y gravas. Terrazas aluviales modernas y recientes se extiende por ambas márgenes de curso principal (PERTT 1993).

#### **2.1.2.6 Relieve.**

En el área de las serranías se observan numerosas pendientes con inclinación muy pronunciada, correspondiente a zonas elevadas. Se observa también, aunque reducidas, zonas con relieve casi horizontal a pendientes de inclinación moderada, principalmente en el área cercana a la ciudad de Tarija, y en la parte central de los valles intermedios, entre serranías.

#### **2.1.2.7 Suelos.**

Los suelos se desarrollaron por la sedimentación continua de un antiguo lago de la llanura fluvio lacustre y la acumulación de sedimentos en forma continua. El contenido de materia orgánica es muy bajo como también la disponibilidad de nutrientes.

#### **2.1.2.8 Hidrografía.**

La subcuenca el monte pertenece a la margen izquierda de la cuenca alta del Rio Guadalquivir. El curso principal registra caudales en la época de estiaje de 0.001 – 0.003 m<sup>3</sup>/seg., nace a 2200 m.s.n.m. en el cerro ojo de agua sigue una dirección Norte – Sur, con una longitud de 18 Km y una pendiente media 2,5% el punto de drenaje se encuentra situado a 1860 m.s.n.m. en la localidad de San Jerónimo(PERTT 1993).



### 2.1.3 Vegetación.

La vegetación se encuentra constituida por especies arbóreas y arbustivas escasas y dispersas, en su mayor parte xerofíticas y corren el riesgo de desaparecer por la tala y el pastoreo indiscriminado.

**Cuadro 2. Vegetación en la subcuenca**

NOMBRE COMÚN	NOM. CIENTÍFICO	FAMILIA
Cina cina	Parkinsonia aculeata	Leguminosa
Chacatea	Dodonea viscosa	Sapindaceae
Churqui	Acacia caven	Leguminosa
Chañar	Geofroea decorticans	Leguminosa
Churqui Blanco	Prosopis nigra	Leguminosa
Jarca	Acacia visco	Leguminosa
Tusca	Acacia aramo	Leguminosa
Algarrobo Blanco	Prosopis alba	Leguminosa
Molle	Schinus molle	Anacardacea
Chilca	Baccharis sp.	Asteraceaea

Fuente: JICA, 2002

### 2.1.4 Uso de la tierra.

Por el análisis efectuado y las condiciones reinantes en la subcuenca, la agricultura se halla en un estado incipiente precisando una inversión para ampliar la frontera agrícola y al mismo tiempo para solucionar el problema de la erosión.

La agricultura está ubicada en terrenos más bajos con una producción de subsistencia.

La vegetación nativa es afectada por una indiscriminada tala de árboles para leña que es vendida en la ciudad de Tarija.

El sobre pastoreo es muy elevado en la zona por el ganado vacuno y principalmente el caprino, que por su acción esquilante contrarresta el poder de regeneración de la cubierta vegetal.

### **2.1.5 Estado actual de la subcuenca.**

De acuerdo a lo expresado en el acápite anterior, en la subcuenca El Monte la erosión hídrica es inminente, en todas sus formas y grados, así en las partes altas o laderas predomina, la erosión laminar; en los depósitos coluvio – aluviales (pie de Monte), se presenta erosión laminar, en surcos y comienza activamente la erosión retrocedente en cárcavas de ultimo grado que en alto porcentaje es irreversible modelando un paisaje con relieve totalmente disectado.

Por otro lado la progresión de los fenómenos alcanza importantes cuotas, a extremo que el río el Monte amenaza con proceder a la captación del río Sella. La línea de cresta que separa a los dos ríos se encuentra a menos de 50 m. por encima de las aguas más altas del río Sella. Este dique natural parece estable, sin embargo por la naturaleza de los sedimentos y la erosión remontante habría que prever, la posible ruptura, en el momento de una crecida del río Sella.

Las crecidas torrenciales del río El Monte han puesto en peligro la ciudad de Tarija, provocando la inundación de miles de viviendas en diciembre de 1991, debido a la falta de protección y manejo en la cabecera de la cuenca.

Este hecho nos permite plantear las alternativas de solución al problema de arrastre de sedimentos por ende al grave problema de la erosión presentada.

## **2.2 Materiales.**

### **2.2.1 Materiales de gabinete.**

- Material de escritorio (CDs, Pendrive, Hojas, etc.)
- Equipo de computación
- Impresora

- Escáner
- Fotografía Aérea (Escala 1:10.000)
- Imágenes Satelitales de Google earth
- Mapa general (Escala 1:50.000)
- Software Ilwis 3.2 academic
- Software adobe photoshop

### **3.1.1 Materiales de campo.**

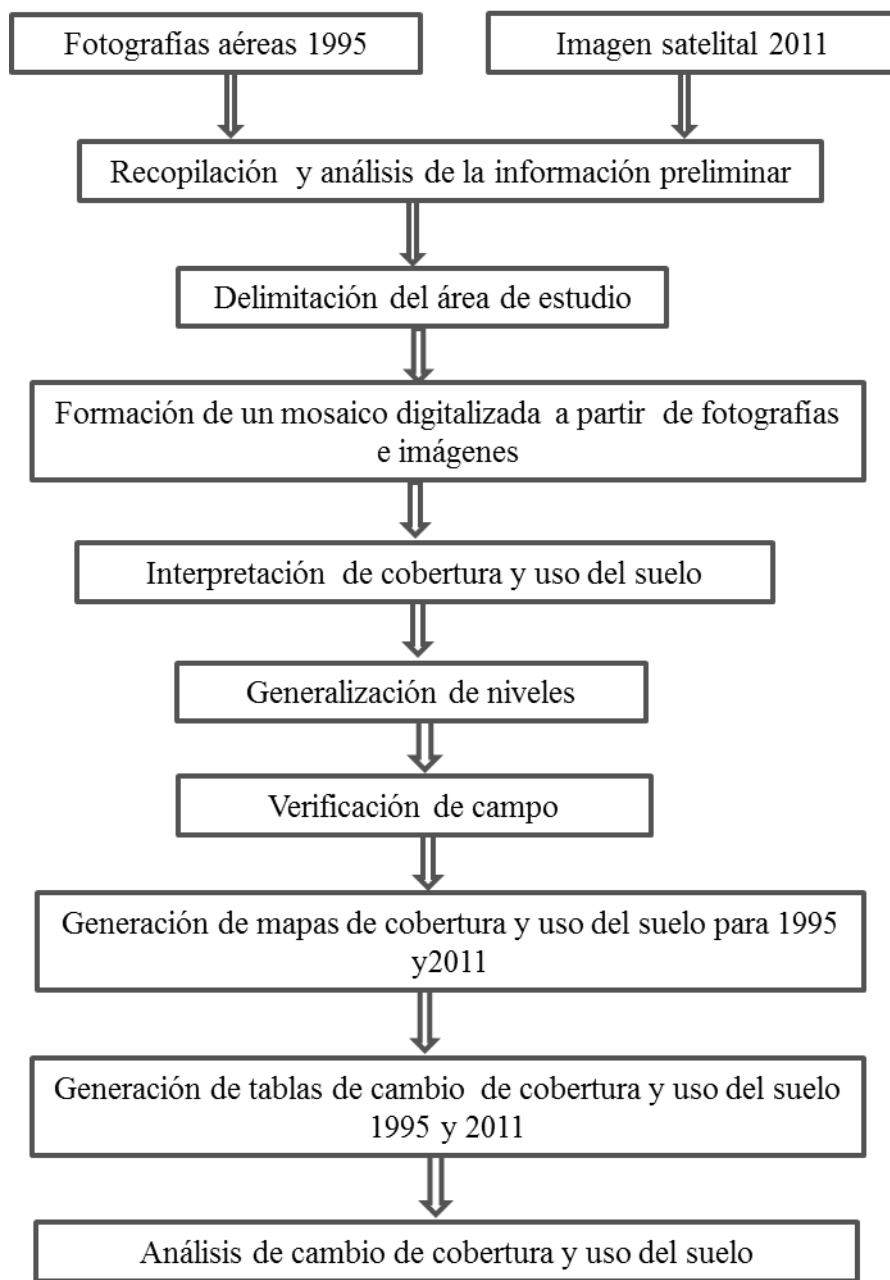
- Mapa topográfico (Escala 1:50.000)
- Papel bond (Formato A4)
- GPS (Global Positioning System)
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica

## **2.3 Metodología.**

El cambio de cobertura y uso de la tierra en la subcuebca El Monte se analiza y se recopila información mediante el estudio de la fotointerpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales digitales de los años 1995 y 2011 con apoyo cartográfico y trabajo de campo.

La Figura 1. se muestra de manera esquemática la metodología general desarrollada que se presenta como propuesta para clasificar coberturas y usos, visualizar y cuantificar los cambios, utilizando la técnica de clasificación orientada a objetos. El diagrama sintetiza los diferentes procesos (los cuales se detallan a continuación) utilizados para la determinación los cambios ocurridos en las coberturas y usos actual de la tierra en un lapso de 16 años.

## METODOLOGÍA DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA



**Figura 2. Diagrama de flujo de la secuencia de pasos metodológicos seguidos en la investigación de cambio de cobertura y uso actual de la tierra.**

### **2.3.1 Recopilación y análisis de la información preliminar.**

La realización en gabinete de la clasificación ordenada y sistemática de toda la información existente sobre la zona de estudio, se evalúa el material bibliográfico disponible relacionado con la vegetación, agricultura y otros aspectos de interés general de la zona de estudio, entre otras cosas la disminución o incremento de las áreas de cultivos, la deforestación, la migración de campesinos, la quema de matorrales, las formas de ocupación y de manejo de la tierra actual.

### **2.3.2 Delimitación del área de estudio.**

El área de estudio por ser una subcuenca se encuentra delimitada por parteaguas, que son las superficies de mayor elevación del área de estudio y que drenan hacia el cuerpo de agua. El área es delimitada de acuerdo a la interpretación del sistema de drenaje y curvas de nivel.

### **2.3.3 Formación de un mosaico digitalizada a partir de fotografías e imágenes.**

La fase de fotointerpretación del área de estudio mediante el empleo de fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro del año 1995 a escala de 1:10000 y e imagen de alta resolución espacial extraída de Google Earth ([www.googleearth.com](http://www.googleearth.com)) del año 2011.

La digitalización de información mediante los escáneres de las fotografías aéreas y extracción de imágenes de Google Earth, introducidos en el software Adobe Photoshop para obtención de imágenes en formato TIF y la creación de mosaicos.

### **2.3.4 Corrección geométrica.**

Se utiliza un sistema de información geográfica para la generación, manipulación y salida de información espacial. Las fotografías aéreas e imágenes fueron georeferenciadas con seis puntos de control (coordenadas geográficas) con ayuda del programa Ilwis 3.2.

Los parámetros técnicos básicos de ingreso de información cartográfica digital son:

- Sistema de coordenada UTM zona 20
- Datum Provisional South American 1956
- Elipsoid International 1924

### **2.3.5 Interpretación de cobertura vegetal y uso del suelo.**

Se delimita el área de estudio, luego se efectúa la interpretación, los criterios que permitieron reconocer los diversos tipos de cobertura fueron tamaño, forma, tono, textura y patrón, permitiendo identificar los elementos básicos: vegetación natural, cultivos, características de la superficie del suelo, rocas, etc., los elementos compuestos: uso de la tierra, parcelas, etc. y generar las categorías de cobertura y uso de la tierra para la futura elaboración de la leyenda.

Durante este proceso se realiza la interpretación de gabinete de las diferentes unidades de la cobertura y uso de la tierra, la información que resulta de esta actividad es importante ya que permite identificar además de aquellos lugares donde se generen dudas que ameriten ser visitadas durante el recorrido de campo.

### **2.3.6 Propuesta de clasificación para cobertura y uso de la tierra (Metodología CorineLandCover)**

#### **Nivel I.**

##### **A. Superficies artificiales**

Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos.

##### **A.1 Zonas Urbanas**

Se caracteriza por estar conformada por conjuntos de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas, las cuales están delimitadas por calles, carreras o

avenidas, principalmente. Cuenta por lo general, con una dotación de servicios esenciales tales como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, hospitales y colegios, entre otros. En esta categoría están incluidas las ciudades capitales y las cabeceras municipales restantes

### **A.1.1 Viviendas continuas**

Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más del 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano.

### **A.1.2 Viviendas dispersas**

Son espacios conformados por infraestructuras que cubren artificialmente la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua.

## **A.2 Zonas rural**

Zona rural es la parte de un municipio que no está clasificada como Área Urbana o de Expansión Urbana: Áreas no urbanizadas al menos en su mayor parte o destinadas a la limitación del crecimiento urbano, utilizadas para actividades agropecuarias, agroindustriales, extractivas, de silvicultura y de conservación ambiental.

### **A.2.1 Centro poblado**

Se define como una concentración de mínimo veinte (20) viviendas contiguas, vecinas o adosadas entre sí, ubicada en el área rural de un municipio o de un Corregimiento Departamental.

### **A.2.2 Lotificación**

Los loteos son fraccionamientos de una parcela. Generalmente, cuando una parcela se divide en 10 ó más lotes nuevos (siempre que cumplan con los mínimos de frentes y superficies) se denominan loteos. Para que un loteo tenga vigencia la parcela a

dividir debe contar con los servicios básicos de infraestructura: agua, luz, cloaca. Con la creación de nuevos lotes y manzanas, se crean también nuevas calles.

## **Nivel II.**

### **B. Áreas agrícolas**

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho.

#### **B.1 Cultivos heterogéneos**

Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos.

##### **B.1.1 Tierras ocupadas principalmente por agricultura, con áreas de vegetación natural.**

Áreas ocupadas principalmente por agricultura, interrumpidas por áreas significativas de vegetación natural.

##### **B.1.2 Mosaico de cultivos**

Es una unidad que comprende cultivos anuales, transitorios o permanentes, en los cuales los tamaños de parcelas son muy pequeños y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual.



### **Nivel III.**

#### **C. Áreas naturales y seminaturales**

Se aplica a aquellas áreas que tienen una cobertura vegetal (natural o semi-natural). Esta cobertura puede estar constituida de formas de vida leñosas (árboles, arbustos, herbáceas), herbáceas o una combinación de ambas.

La vegetación natural es aquella donde la cobertura vegetal está en equilibrio con los factores bióticos y abióticos de su ambiente. El término semi-natural se utiliza para identificar al tipo de vegetación no plantada por el hombre pero que puede ser influenciada por actividades humanas.

Un ejemplo de estas áreas son aquellas donde la vegetación natural ha sido modificada en su composición florística, por pastoreo o por prácticas tales como la tala o extracción selectiva en un bosque natural.

#### **C.1 Asociación de vegetación arbustiva y herbácea**

Asociación de coberturas donde se presenta la mezcla de vegetación de diferentes tipos biológicos, predominantemente de pastos con relictos de bosque y rastrojos que no pueden ser separados a la escala del estudio, pero que a escalas más detalladas con mayor reconocimiento de campo pueden ser diferenciadas. Esta categoría incluye cultivos de subsistencia en muy baja proporción.

##### **C.1.1 Herbazal abierto con arbustos dispersos**

Corresponde a las áreas dominadas por vegetación natural herbácea abierta que presentan una cobertura entre el 30% y el 70%. con presencia de elementos arbustivos dispersos que ocupan entre el 2% y el 30% de la unidad.

## **Nivel IV.**

### **D. Áreas de restauración y conservación**

Son espacios físicos que quieren ser preservadas y restauradas.

#### **D.1 Plantaciones forestales**

Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal.

Las coberturas pueden estar formadas por especies exóticas o nativas que son sometidos a ordenación forestal (protección, conservación, producción).

##### **D.1.2 Represas de tierras**

Las represas de tierra utilizan materiales naturales con un mínimo de elaboración o proceso y pueden construirse con el equipo primitivo en condiciones donde cualquier otro material de construcción sería impracticable.

## **Nivel V.**

### **E. Tierras eriales**

Bajo esta denominación se incluyen las zonas que se caracterizan por tener escasa cobertura vegetal o no poseerla; se destacan los misceláneos erosionados, afloramientos rocosos, mantos de arena (playas y dunas) y tierras degradadas por diferentes causas.

#### **E.1 Afloramiento rocoso**

Son áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, sin desarrollo de vegetación, generalmente dispuestas en laderas abruptas, formando escarpes y acantilados; así como zonas de rocas desnudas relacionadas con la actividad volcánica o glacial. Asociados con los afloramientos rocosos se pueden encontrar depósitos de sedimentos finos y gruesos, de bloques o de cenizas.

### **E.1.1 Roca desnuda**

Está constituida por capas de rocas expuestas.

## **E.2 Tierras desnudas y degradadas**

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema. Se incluyen las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación, o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas.

### **E.2.1 Ninguna o muy poca erosión**

Los suelos de este grupo muestran 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.

### **E.2.2 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

### **E.2.3 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.

### **E.3. Lecho de río o quebrada**

El lecho es la faja de terreno que, siendo parte del cauce, es ocupado por las aguas de una corriente superficial en presencia de un flujo ordinario estimulado por precipitaciones sobre cuerpos de agua, flujo de aguas subterráneas, escorrentía superficial y subsuperficial y deshielos; este caudal corresponde al de avenidas frecuentes o con un período de recurrencia bajo.

#### **2.3.7 Generalización de niveles.**

La leyenda que se utiliza para realizar la fotointerpretación en nivel 1 contiene 5 categorías de cobertura y usos de la tierra, en el nivel 2 contienen 8 categorías y en el nivel 3 contiene 14 categorías, las cuales se muestran a continuación:

1° Nivel	2° Nivel	3° Nivel
A. Superficies artificiales	A.1 Zona urbano	A.1.1 Viviendas continuas
		A.1.2 Viviendas dispersas
	A.2 Zona rural	A.2.1 Centros poblados
		A.2.2 Lotificación
B. Áreas agrícolas	B.1 Cultivos heterogéneos	B.1.1 Tierras ocupadas principalmente por agricultura, con áreas de vegetación natural
		B.1.2 Mosaico de cultivos
C. Áreas naturales y seminaturales	C.1 Asociación de vegetación herbácea y/o arbustiva	C.1.1 herbazal abierto con arbustos dispersos
D. Áreas de restauración y conservación	D.1 Obras biofísicas	D.1.1 Plantaciones forestales
		D.1.2 Represa de tierra
E. Tierras eriales	E.1 Afloramiento rocoso	E.1.1 Roca desnuda
	E.2 Tierras desnudas y degradadas	E.2.1 Con muy poca erosión
		E.2.2 Con erosión moderada
		E.2.3 Con erosión severa
E.3 Lecho de río o quebrada	E.3.1 Quebrada	

**Cuadro 3. Leyenda de cobertura y uso del suelo generalizada de acuerdo con la metodología CorineLandCover.**

### **2.3.7 Verificación en campo.**

Tras los trabajos de digitalización e interpretación, se efectuará una comprobación en campo y/o resolución de dudas de la interpretación. Dicha comprobación consistirá en un día en el campo, con el objeto de ampliar el conocimiento del área en estudio, recorriendo el área para verificar los cultivos predominantes, prácticas y sistemas de manejo, accesibilidad y todos aquellos elementos que pudieran servir de base para un mejor entendimiento del uso de las tierras.

En esta etapa se aprovecha, además, para registrar fotografías características de la subcuenca.

### **2.3.8 Generación de mapas de cobertura y uso del suelo para 1995 y2011.**

A partir de la detección los polígonos de cobertura y uso de la tierra en las fotografías aéreas e imágenes satelitales,realizado directamente en pantalla; generando una capa de trabajo y se utilizaron el software Ilwis para el dibujo de los límites entre los polígonos y la introducción de las claves de dichos polígonos. Una de las principales ventajas del procedimiento utilizado fue la posibilidad de realizar acercamientos (Zoom) y desplazamientos (Pan) en las zonas de difícil interpretación.

### **2.3.9 Análisis de cambio de cobertura vegetal 1995 y2011.**

Una vez obtenidas las coberturas y usos de las dos fechas estudiadas, se procede a realizar la comparación de las mismas. Se analizan de una manera visual los cambios notorios entre una y otra época, con el objeto de confirmar su coherencia. Una vez aprobada la coherencia de los datos espaciales obtenidos para las dos fechas, se procede a realizar los cálculos de superficies, y las tablas resumen que se muestran de las superficies.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

#### 3.1 Análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo.

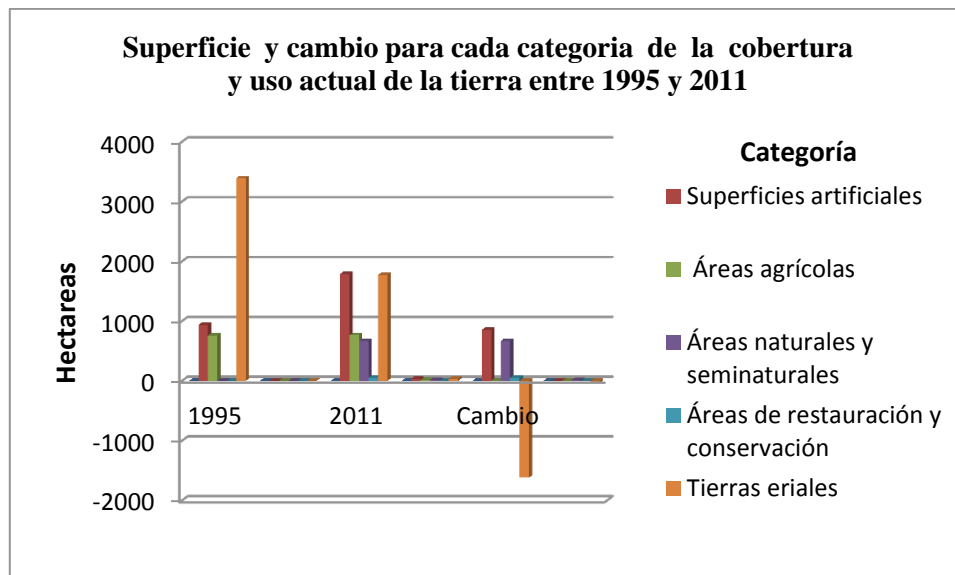
El análisis espacial de la información examina el comportamiento de las categorías de cobertura y uso, considerando la superficie y el porcentaje de los niveles generalizados para cada tiempo (Tabla 1).

Las categorías que cubre la mayor parte de la zona de estudio en el año de 1995, es el de tierras eriales (3388,86 Has.), que cubre en el 66,67 % del total la subcuenca, seguido de las superficies artificiales (934,98 Has.), que cubre el 18,39 % y las áreas agrícolas (759,54 Has.), con 14,94 %, estos dos últimos niveles mencionados cubren en conjunto el 33,33 % del área total de la subcuenca (Tabla 1).

**Tabla 1. Superficie y cambio para cada categoría de la cobertura y uso de la tierra entre 1995 y 2011 de toda la Subcuenca El Monte.**

Categoría	1995		2011		Cambio	
	Superficie en (Has.)	%	Superficie en (Has.)	%	Superficie en (Has.)	%
<b>Superficies artificiales</b>	934,98	18,39	1789,09	35,46	+854,11	16,87
<b>Áreas agrícolas</b>	759,54	14,94	764,2	15,15	+4,66	0,09
<b>Áreas naturales y seminaturales</b>	0,00	0,00	667,1	13,22	+667,10	13,17
<b>Áreas de restauración y conservación</b>	0,00	0,00	53,27	1,06	+53,27	1,05
<b>Tierras eriales</b>	3388,86	66,67	1771,23	35,11	-1617,63	31,94
<b>Total</b>	<b>5083,38</b>	<b>100</b>	<b>5044,89</b>	<b>100</b>	<b>3196,77</b>	<b>45,12</b>

En el año 2011 las categorías que se encuentran mejor representadas en la zona son las mismas que en el año de 1985; sin embargo, el orden de importancia cambia: Superficies artificiales (1789,09 Has.) con el 35.46 % , tierras eriales (1771,23Has.) con el 35,11%. Las categorías mencionadas cubren el 70,57 % de toda la subcuenca, la áreas naturales y seminaturales (667,10Has.) con el 13,22 %, las áreas agrícolas (764,2 Has.) con el 15,15 % y las áreas de restauracion y conservación (53,27 Has.) con el 1,06 %, que sumando estas tres categorías cubren el 29,43 % de toda la subcuenca (Tabla 1).



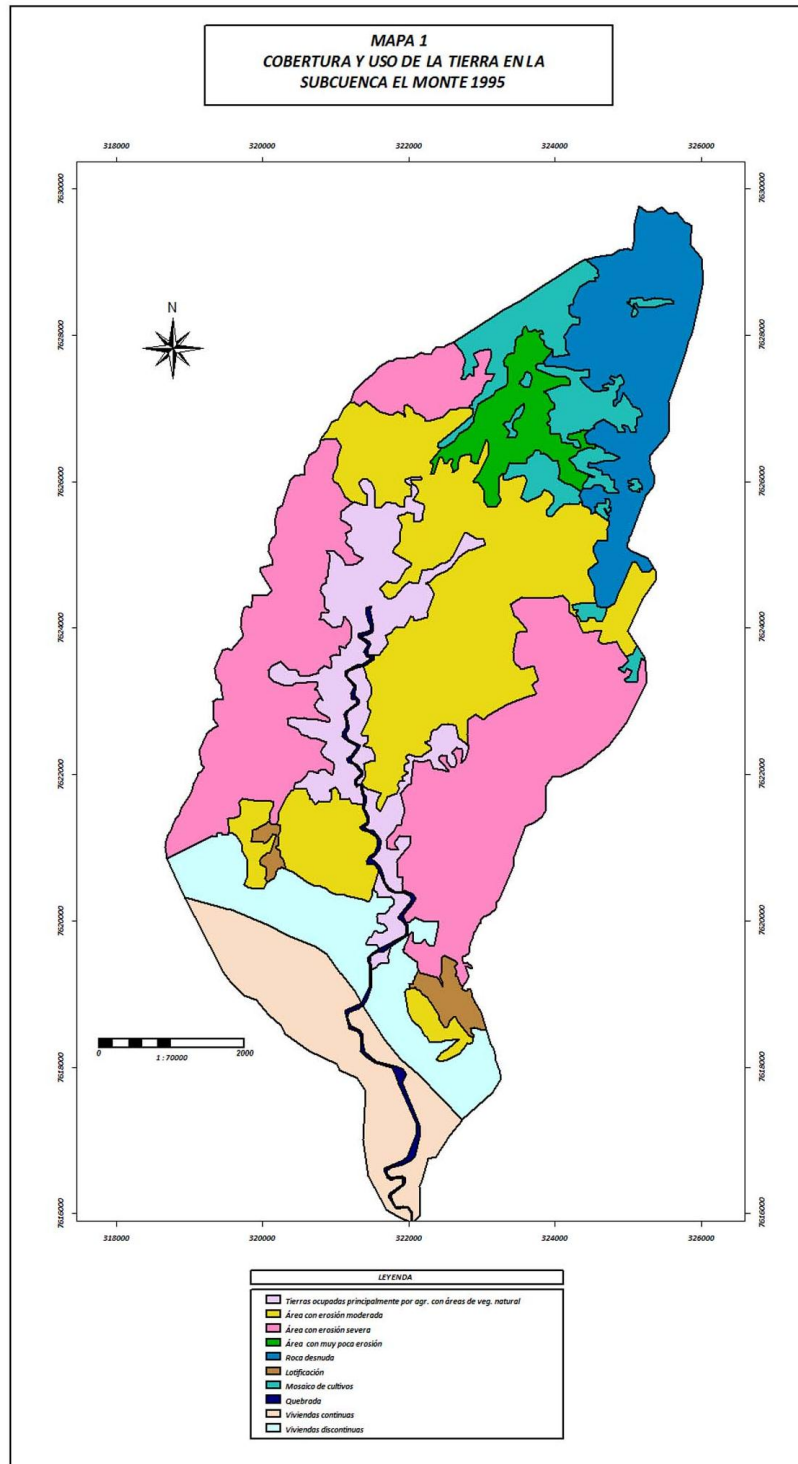
**Gráfico 1. Distribución de las superficies por categoría y por año.**

En el periodo de 16 años existe un importante cambio en la cobertura y uso de la tierra, el aumento significativo de superficies de las categorías de las superficies artificiales (854,11 Has.) con el 16,87 %, áreas naturales y seminaturales (667,10 Has.) con el 13,17 %, y un cambio de superficie en el nivel tierras eriales, con una disminución de superficies 1617,63 Has. que equivale al 31,94 % del área total (Tabla 1)

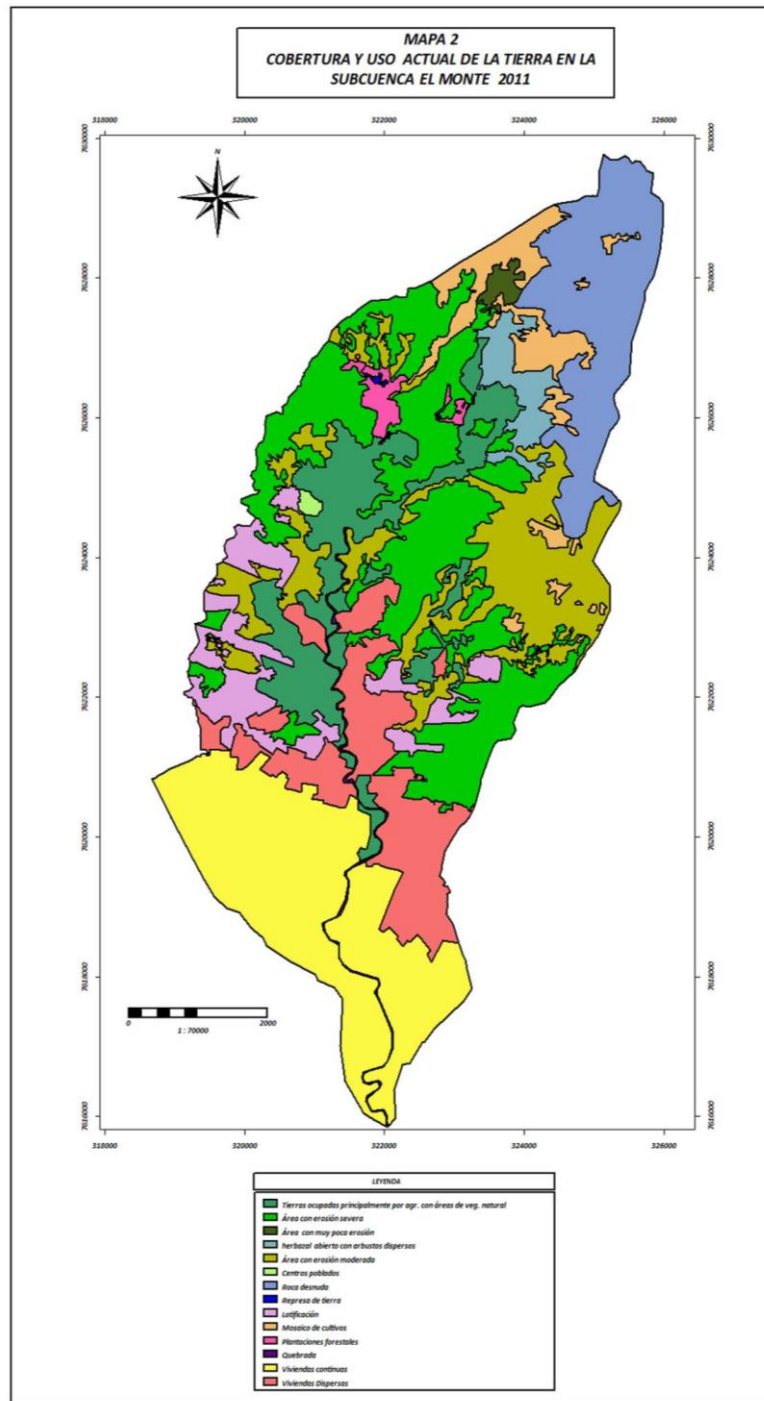


### **3.2 Mapa de cobertura y uso actual de la tierra.**

La distribución espacial de la cobertura y uso de la tierra generalizadas de la subcuenca para 1995 y 2011 se presentan en los mapas 1 y 2, respectivamente. A continuación se explicarán cada una de las categorías generalizadas que definen la cobertura vegetal y uso de suelo de la subcuenca El Monte.



**Mapa 1. Distribucion de cobertura y uso del suelo en subcuenca El Monte en 1995**



**Mapa 2. Distribucion de cobertura y uso del suelo en subcuenca El Monte en el  
2011**

### 3.1.1 Superficies artificiales.

Las superficies artificiales crecieron (854,11 Has.) con el 16,87%, lo que significa que es la categoría con mayor crecimiento, que se dio principalmente en las viviendas continuas que equivale al 10,12% del total de la superficie de la subcuenca (Tabla2).

Considerando de manera general, tanto las características de los suelos como la erosión, es posible mencionar que el crecimiento de los diferentes asentamientos humanos de la subcuenca hacia la planicie tiene consecuencias en la pérdida de suelos para la restauración y la estabilidad.

**Tabla 2. Superficie y cambio para cada categoría de las superficies artificiales.**

Categoría	1995		2011		Cambio	
	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%
Viviendas continuas	452,64	48,41	964,97	53,94	+512,33	10,12
Viviendas dispersas	417,21	44,62	523,37	29,25	+106,16	2,10
Centros poblados	0,00	0,00	9,4	0,3	+ 9,44	0,19
Lotificación	65,13	6,97	291,31	16,28	+226,18	4,47
<b>Total</b>	<b>934,98</b>	<b>100</b>	<b>178,09</b>	<b>100</b>	<b>854,11</b>	<b>16,87</b>

### 3.1.2 Áreas agrícolas.

La agricultura es la categoría que no ha presentado cambios significativos. La superficie ha aumentado (149,06 Has.) equivalente al 1,45 % de la superficie total de la subcuenca (Tabla3).

Áreas ocupadas principalmente por agricultura, interrumpidas por áreas de vegetación natural de árboles, arbustos y mosaico de cultivos. Entre los principales cultivos que se puede observar en la zona son: *Solanum tuberosum* “papa” y *Zea mays* “maíz”.

**Tabla 3. Superficie y cambio para cada categoría de áreas agrícolas.**

Categoría	1995		2011		Cambio	
	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%
<b>Tierras ocupadas principalmente por agricultura, con áreas de vegetación natural</b>	454,67	59,86	531,53	69,55	+76,86	0,02
<b>Mosaico de cultivos</b>	304,87	40,14	232,67	30,45	-72,20	1,43
<b>Total</b>	<b>759,54</b>	<b>100</b>	<b>764.2</b>	<b>100</b>	<b>149.06</b>	<b>1.45</b>

### **3.1.3 Áreas naturales y seminaturales**

Las áreas naturales y seminatural extendieron su área de 1995 al 2011 en (667,1Has.) lo que significa que es el segundo nivel con mayor crecimiento dentro de la subcuenca (13,17% del área de estudio en el año 2011).

La vegetación se encuentra constituida por especies, arbustivas y herbáceas escasas y dispersas, corren el riesgo de desaparecer por la tala y el pastoreo, consecuentemente ofrece poca protección al suelo.

**Tabla 4. Superficie y cambio para cada categoría de áreas naturales y seminaturales.**

Categoría	1995		2011		Cambio	
	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%
<b>herbazal abierto con arbustos dispersos</b>	0,00	0,00	667,1	84,84	+667,10	13,17
<b>Total</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>667,1</b>	<b>100</b>	<b>667,10</b>	<b>13,17</b>

### 3.1.4 Áreas de restauración y conservación.

La recuperación de suelos mediante las plantaciones forestales y las represas de tierra ocupan (53,27 Has.)y en la actualidad ocupan el 1,05% de la superficie total de la subcuenca,

Las plantaciones son principalmente de álamo y pino, que se ubicaron sobre zonas degradadas para tratar de minimizar la pérdida de suelo.

**Tabla 5. Superficie y cambio para cada categoría de áreas de restauración y conservación.**

Categoría	1995		2011		Cambio	
	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%
<b>Plantaciones</b>	0,00	0,00	49,9	93,67	+49,90	0,99
<b>Represa de tierra</b>	0,00	0,00	3,7	6,3	+3,37	0,07
<b>Total</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>53,27</b>	<b>1,0</b>	<b>53,27</b>	<b>1,05</b>

### 3.1.5 Tierras Eriales.

Este nivel ha disminuido su extensión en los últimos años (1685,51Has.), especialmente porque ha sido cubierto por expansión de las viviendas y vegetación arbustiva y herbácea (Tabla 6).

Esta unidad de cobertura de la tierra hace referencia a aquellos terrenos en los cuales los suelos están desprovistos de vegetación, asociados con intensos procesos de erosión activa y formaciones geológicas aflorantes, las hace muy susceptibles a todos los procesos de degradación de tierras, provocando su erosión acelerada por lo cual se les debe dedicar a la conservación y recuperación de los recursos naturales.

**Tabla 6. Superficie y cambio para cada categoría de tierras eriales.**

Categoría	1995		2011		Cambio	
	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%	Superficie (Has.)	%
<b>Roca desnuda</b>	496,98	14,67	530,92	32,14	+33,94	0,67
<b>Área con muy poca erosión</b>	186,59	5,51	27,21	1,65	-159,38	3,15
<b>Área con erosión moderada</b>	1207,34	35,63	119,16	15,16	-1088,18	21,49
<b>Área con erosión severa</b>	1459,19	43,06	1073,77	65	-385,42	7,61
<b>Quebrada</b>	38,76	1,14	20,17	1,22	-18,59	0,37
<b>Total</b>	<b>3388,86</b>	<b>100</b>	<b>1771,23</b>	<b>100</b>	<b>1685,51</b>	<b>33,29</b>

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

- El estudio se caracterizó por presentar un nivel de análisis detallado, delimitando el trabajo a nivel de subcuenca, con lo que es posible estimar los cambios en la cobertura y uso de la tierra en función de las características particulares del área.
  
- La metodología que se emplearon para este estudio permitieron realizar un análisis particular, ya que con el apoyo de las fotografías aéreas e imágenes, se observan cambios a nivel muy detallado, por lo tanto los SIG constituyen una herramienta importante en este tipo de análisis. Por otra parte es importante destacar el trabajo de campo, ya que fue de gran utilidad para la verificación de los niveles que se determinaron en las fotografías aéreas e imágenes.
  
- En la zona de estudio la categoría que sufrió el mayor aumento de superficie son las superficies artificiales, los cuales en el año 1995 presentan (934,98 Has.) equivalente al 18,34 %, en el 2011 presentan (1789,09 Has.), cubriendo actualmente el 35,46 % de la superficie total de la subcuenca. Este crecimiento es producto del aumento poblacional que ha sido uno de los más dinámicos en las áreas periféricas de la ciudad de Tarija. Esta categoría sufrió un aumento de su superficie en función de la reducción de la superficie de categoría de tierras eriales.



- La actividad agrícola que no ha presentado un cambio radical dentro del área, la superficie ha aumentado del año de 1995 al 2011 en un 0.09% del área total.
- La subcuenca El Monte ha presentado una recuperación de su cobertura vegetal en los últimos 16 años, presentando también una disminución en extensión principalmente de las tierras eriales.
- En los últimos años se origina las formaciones de vegetación arbustiva, y herbácea (667,10 Has.) cubren actualmente el 13,17% del área total.
- La subcuenca posee un cambio positivo en el uso de áreas de restauración y conservación (53,27 Has.) cubriendo actualmente 1,06% del área total de la subcuenca.
- Durante las diferentes épocas de estudio, las tierras eriales, fueron reemplazados en cantidades importantes 31,94% del área total.
- Por último se presentaron cambios de 1995 a 2011 en la superficie total de la subcuenca, reduciendo su extensión a (38,49Has.), debido a la nivelación de tierras, por el al incremento de la demanda de terrenos para la construcción de viviendas.

## RECOMENDACIONES

- Debe haber una planificación de la Prefectura, Alcaldía y el PERTT, para impulsar nuevos planes para la recuperación de tierras erosionadas, a fin de conseguir el propósito de la mitigación del flagelo de la erosión y un control de las áreas de asentamientos humanos.
- Contar con las herramientas adecuadas como imágenes satelitales y fotografía aéreas de alta resolución espacial, que son difíciles de obtener debido al alto costo monetario.
- En el trabajo de interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas, es necesario poseer una abundante información detallada de campo y datos auxiliares que permitan diferenciar las coberturas y los usos, para obtener resultados más confiables.
- A partir del presente estudio, continuar con el seguimiento y monitoreo del estado de degradación de suelo, el cambio de cobertura y uso, utilizando los Sistemas de Información Geográfica.