

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Implicancia del cambio de uso del suelo en el mundo

Antes de comentar los cambios de usos de suelo, cabe señalar las diferencias existentes entre los términos cobertura y uso de suelo. En forma pragmática, cobertura, describe los objetos que se distribuyen sobre un territorio determinado.

Uso del suelo, en cambio, se refiere a la actividad socioeconómica que se desarrolla o desarrolló sobre una cobertura. El término uso del terreno se aplica a los diferentes tipos de cobertura que el hombre crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (Bocco y Mendoza, 2001). Las características del uso de la tierra son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales o humanos (Guhl, 2004).

La magnitud, extensión y velocidad de las alteraciones antrópicas sobre la superficie de la tierra no tienen precedentes en la historia de la humanidad (Lambin, 1997).

Alrededor de la mitad de la superficie de la tierra ha sido directamente transformada por la acción humana. Estos cambios han sido tan dramáticos que se acercan a los niveles de transformación que ocurrieron durante los períodos glaciales. Goldewijk (citado por Aguayo *et al.*, 2009) determinó que durante el período 1700-1990, 1.206 millones de hectáreas fueron convertidas en terrenos agrícolas y 2.927 millones fueron transformadas en áreas de pastoreo. Por otra parte, entre 1700 y 1992, 1.621 millones de hectáreas fueron habilitadas para la agricultura de las cuales 885 millones correspondían a bosque, 565 millones a sabana/praderas/estepa, 150 millones a matorrales y 21 millones a tundras/desiertos.

Debido a estas transformaciones las tierras de cultivo y pastoreo son, en la actualidad, los usos terrestres más grandes del planeta, los que ocupan alrededor de 40 % de la superficie de la tierra (Aguayo *et al.*, 2009). Mundialmente, las actividades agropecuarias, junto con la extracción de madera, (disminución de los bosques) han causado una pérdida de cerca de 13 millones de hectáreas de bosques durante el

último decenio, en comparación con 16 millones de hectáreas por año en la década de 1990, teniendo en consideración que las tendencias en nuestro continente son preocupantes: siguen teniendo la pérdida neta de bosque más elevada (FAO, 2010). Toda esta situación, ligada a factores ambientales (las características del suelo, el clima, la topografía, la vegetación), refleja la importancia del terreno como un factor fundamental para la producción.

El escenario es complejo pero sin duda las actividades realizadas por el hombre son las que han ocasionado en mayor importancia la pérdida de diversidad biológica, introducción de especies exóticas, cambio en el ciclo hidrológico, contaminación de la tierra, aire y agua, así como la disminución de la capacidad de rendimiento de tierras productivas (Bocco y Mendoza, 2001).

1.2 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 (FAO, 1991).

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 estas actividades producen un cambio en la cobertura del

suelo. 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).

1.3 Categorías del uso de suelo

La ley forestal N° 1700 (12 de julio de 1996) hacen referencia sobre las categorías y subcategorías del uso de la tierra. Son clases y subclases utilizadas para asignar usos a los suelos en base a estándares metodológicos de aplicación internacional y de acuerdo a las consideraciones técnicas específicas que cada ambiente o área de estudio así lo demande.

1.4 Uso actual de la tierra en Tarija

Según, ZONISIG (2000) El territorio tarijeño se caracteriza por una gran variabilidad ecológica que permite una diversidad de usos de la tierra. El uso actual de la tierra se clasifica en diversas categorías de uso, de acuerdo a las provincias fisiográficas presentes en el departamento, esto es, Cordillera Oriental, Subandino y la llanura chaqueña, así como a la intensidad de uso, de acuerdo a su importancia en términos de superficie ocupada.

1.5 La tierra y sus recursos

Según FAO/UNEP, 2000 , 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 geohidrológicas, 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).

1.6 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, nutrientes 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).

1.7 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).

1.8 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 (FAO, 1995).

1.9 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 (FAO, 1991).

1.9.1 Erosión de suelos

La erosión del suelo es un término común que a menudo se confunde con la degradación del suelo, ya que realmente se refiere a las pérdidas absolutas de suelo de las capas superficiales y nutrientes del suelo. De hecho el efecto más visible de degradación del suelo, pero no cubre totalmente todos los aspectos. La erosión del suelo se refiere a un proceso natural. Pero con frecuencia se empeora mediante las malas prácticas de manejo (FAO, 1991).

1.9.1.1 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).

1.10 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 (Chuvieco, 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 Usos de la tecnología de los sensores remotos en los estudios del territorio

(Schowengerdt, 1997) Considera 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

(Según Van, 1986). 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 monocromáticas 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. (Van, 1986).

1.13 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas técnicas que junto con los sistemas de percepción remota permiten la captura, observar y monitorear los recursos naturales, así como el almacenamiento y análisis de los resultados de estas observaciones (Bocco, 1998).

(Bocco *et al.* 1991), define a un SIG como un conjunto de programas de computación que permite el acopio, manipulación y transformación de datos espaciales (mapas, imágenes de satélites) y no espaciales (atributos) provenientes de varias fuentes, temporal y espacialmente diferentes.

Los SIG son importantes porque integran información espacial y no espacial en un sistema simple, ofreciendo un marco consistente para el análisis de los datos geográficos. Su objetivo general, es generar información válida para la toma de decisiones. Mientras que sus objetivos específicos, son manejar bases de datos grandes y heterogéneas referenciadas geográficamente, interrogar a la base de datos sobre la existencia de ciertos fenómenos (qué sucede, en donde y cuando), permitir la interacción en forma flexible del sistema y el intérprete, incrementar el conocimiento sobre el fenómeno estudio e implementar modelos sobre su comportamiento (Rosete, Bocco, 2003).

1.13.1 SIG y geografía

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 (Gutiérrez y Puebla, 1994).

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 y 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 y Puebla, 1994). Y en cierta manera, el uso de esta nueva herramienta ha provocado la mejora de la reputación geográfica (Gutiérrez y 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.

1.13.2 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 barredores 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 Interpretación visual de las imágenes satelitales

Análisis visual, es un método de análisis para la detección de cambio de cobertura vegetal consiste en el análisis de patrones espaciales donde se determina el cambio de tono o color del pixel. Para que la interpretación visual se la realice de forma adecuada depende de la experiencia del intérprete, la escala con la que se trabaja y la calidad de imagen.

El análisis visual puede entonces, utilizar elementos como textura, estructura, emplazamiento o ubicación contextual, factores de análisis que son posibles de aplicar en el tratamiento digital de una imagen satelital. La complejidad de la interpretación en la medida que se pasa a considerar elementos relacionados con la propia imagen a factores de análisis que dependen del propio objeto en estudio y de las características ambientales en que se encuentra. En un trabajo de interpretación los denominados factores de interpretación se analizan en conjunto, tanto en los procesos de análisis deductivos como inductivos (Castro, 1997).

En este sentido, el tono hace referencia a la intensidad de energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro, es decir, se relaciona estrechamente con el comportamiento espectral de las distintas cubiertas, para la banda particular del espectro sobre la que se está trabajando. La visualización de los tonos constituye una primera aproximación visual a una imagen, por su indudable parecido, al menos en las formas que pueden apreciarse con la resolución espacial del sensor, a una fotografía aérea tradicional. A través de la interpretación se puede reconocer variadas categorías por el contraste de tonos en distintas bandas del espectro (chuvieco, 1990).

1.14.1 Criterios para la interpretación visual de las imágenes satelitales

1.14.1.1 Tono

Se refiere al brillo relativo de los objetos, las variaciones tonales son elementos muy importantes en la interpretación, constituyendo uno de los principales criterios de interpretación visual. La expresión tonal de los objetos en la imagen está directamente relacionada con la cantidad de energía reflejada por la superficie. Los distintos tipos

de rocas, suelos, vegetación, presentan diferentes tonos (Van, 1986). Las variaciones en las condiciones de humedad también se reflejan como diferencias tonales: un incremento en el contenido de humedad origina tonos más oscuros, estas diferencias son debido a:

- La diferente impresión de la imagen puede dar distintos tonos en dos imágenes contiguas;
- La posición del sol (su elevación dependiendo de la hora del día y de la estación del año);
- La distinta reflectividad de los elementos según la longitud de onda considerada, es decir, el tono característico de una cubierta varía con la banda del espectro considerada (por ejemplo la vegetación presenta tonos oscuros en las bandas correspondientes a longitudes de onda del visible, mientras que en longitudes de onda del infrarrojo presenta tonos más claros);
- Las características distintas de diferentes elementos según la estación del año (por ejemplo vegetación y contenido de humedad).

Es necesario destacar que una representación impresa de una imagen supone una pérdida de los tonos (distintos niveles de energía) captados por el detector, ya que en la mayor parte de los casos éste detecta hasta 256 niveles distintos. Por otra parte, el ojo humano tampoco está capacitado para distinguir 256 niveles o tonos de gris.

1.14.1.2 Color

La ventaja del color sobre el tono es que el ojo humano es mucho más sensible a las variaciones cromáticas frente a las variaciones de intensidad luminosa. Además, debido a la posibilidad de mezclar varias bandas del espectro en una composición de color, el color resulta ser un elemento básico para la interpretación visual de las imágenes de satélite. El ojo humano percibe longitudes de onda entre 400 y 700 nm, separando la energía recibida en tres componentes que son los denominados colores primarios: azul, verde y rojo, a partir de los cuales se puede generar cualquier otro color. El monitor de los ordenadores presenta 3 canales (rojo, verde, azul); cuando desplegamos una sola banda del espectro (grises), la misma señal se introduce por los

tres canales del monitor. Sin embargo, cuando realizamos una composición en color, los datos de tres bandas utilizadas son introducidos por cada uno de los tres canales del monitor, de forma que se reproducen multitud de colores en los píxeles como producto de la combinación de los valores de intensidad de cada una de las tres bandas para cada píxel (Lillesand et al, 2004).

En principio, cualquier combinación de bandas puede ser utilizada en una composición en color. Sólo la experiencia y el área de aplicación o el tema en el que se esté trabajando, hará elegir que tres bandas de un conjunto multiespectral son utilizadas para la composición en color. Una elección muy utilizada es la composición en falso color, correspondientes al infrarrojo cercano, ésta combinación tiene la característica de presentar en la imagen la vegetación en diferentes tonalidades de rojo, dependiendo de la fenología de la planta y lo vigorosa de la misma.

1.14.1.3 Textura

Es la frecuencia con la que suceden cambios tonales, es decir, el contraste espacial entre los elementos que componen la imagen (se percibe como repeticiones de cambios tonales). Esta característica se produce por una agregación de rasgos unitarios que pueden ser demasiado pequeños para diferenciarse individualmente, pero que juntos marcan una diferencia respecto al resto de la foto. Para definir la textura se suelen usar los adjetivos de suave (campo de trigo crecido) y grosero (en un terreno rugoso, como puede ser un suelo desnudo en áreas de montaña con muchas piedras o un bosque), lineal, etc.

A menudo la textura se puede relacionar con la rugosidad del terreno. La textura está muy relacionada con la resolución espacial del sensor ya que procede de la relación del tamaño del objeto y dicha resolución. Éste criterio es importante, para discriminar entre objetos con el mismo comportamiento espectral. A medida que se reduce la escala a la que observamos la imagen, la textura de cualquier objeto o área se hace progresivamente más fina hasta desaparecer (Van, 1986).

1.14.1.4 Forma

Se refiere a la forma de los objetos, a la forma de su perímetro, a la forma tal y como se ve en una foto de dos dimensiones, en definitiva la forma caracteriza a muchos objetos que se ven en las imágenes. Asimismo también se incluye en la forma, la altura relativa de los objetos cuando se trabaja con visión estereoscópica en la interpretación visual. El intérprete deberá tender a identificar los objetos de acuerdo con esta característica ya que es una de las más fáciles. En algunos casos esta característica bastara para diferenciar el objeto de estudio de los del resto de la imagen, pero no en todos (Janssen, 2000).

1.14.1.5 Tamaño

El tamaño de los objetos en la imagen se tiene que considerar siempre en el contexto de la resolución espacial y de la escala en la que está impresa o desplegada la imagen. Igualmente es importante relacionar el tamaño del objeto analizado con otros objetos de la imagen o foto: por ejemplo para saber si una carretera o camino es más o menos importante.

1.14.1.6 Patrón

Se refiere a la distribución espacial de los objetos (tanto naturales como construidos), a la repetición de formas cada cierto espacio, que permite su identificación. Los cultivos en aterrazamientos o bancales también presentan un patrón característico, así como los distintos patrones de disposición de la red de drenaje en dendrítico, paralelo, etc., y los patrones de construcción (López, 1988).

1.14.1.7 Localización

Se refiere a la posición topográfica o geográfica en la que se encuentra un objeto o elemento respecto a un marco de referencia (montaña, valle, ciudad, etc.). En algunos casos la identificación de los objetos de estudio no se hace de una manera directa, sino que se realiza por eliminación: es decir, conociendo el tema de estudio (por ejemplo vegetación) se puede conocer las características donde pueden darse determinados tipos: a partir de cierta altura únicamente pueden darse los pinos y los

abetos. En el caso de la vegetación, de los usos del suelo, etc. Esta distinción por eliminación variara de región en región y de estación en estación. En cuanto a las formas del relieve, también existe una variación condicionada por el clima (Rencz, 1999).

1.14.1.8 Aspectos temporales

Los aspectos temporales relacionados con los fenómenos naturales son de gran importancia en la interpretación porque factores como el crecimiento vegetativo y el contenido de humedad del suelo varían durante el año. Por otra parte estos aspectos también son importantes para interpretar los cambios ocurridos en un periodo de tiempo determinado en cuanto a usos del suelo y repercusiones de las actividades humanas sobre el medio. En los estudios multitemporales se ha de tener en cuenta que los tonos, colores y texturas, (que están relacionados con las condiciones medio-ambientales y de adquisición), podrán variar de una imagen a otra de la misma zona, por lo que habrán de considerarse individualmente para cada imagen (López, 1988).

Tras la introducción de estos criterios o elementos de interpretación se ha obtenido una relación de la extensión espacial de las características a las que se refieren: el tono y color se pueden definir para un único pixel, la textura se define con respecto a un grupo de píxeles. Los otros elementos o criterios se refieren a elementos individuales o a grupos de objetos (Sabins, 1997).

1.15 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).

1.15.1 Clasificación supervisada

La clasificación supervisada requiere de cierto conocimiento previo del terreno y de los tipos de coberturas, a través de una combinación de trabajo de campo. Análisis de fotografías aéreas, imágenes satelitales, mapas e informes técnicos y referencias profesionales y locales. Con base de este conocimiento se definen y se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento o pilotos. La clasificación supervisada pretende definir las clases temáticas que no tengan claro significado espectral, considerada por esto como un método artificial (Posada, 2008).

1.15.2 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 Sistemas de Clasificación de la cobertura de la tierra

Una proporción de las clasificaciones existentes son ya sea clasificaciones de vegetación (ej. Danserau, 1961; Fosberg, 1961; Eiten, 1968; UNESCO 1973; Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Anderson et al., 1976; Kuechler y Zonneveld, 1988), clasificaciones generales de la cobertura de la tierra o sistemas relacionados a la descripción de elementos específicos (como áreas agrícolas). De esa forma, ellas están limitadas en su capacidad de definir el rango completo de posibles clases de la cobertura de la tierra.

Un ejemplo es la Clasificación de la UNESCO (diseñada para servir en primer lugar para mapas de cobertura vegetal a escala 1:1000 000), el cual considera solamente vegetación natural, mientras que otras áreas vegetadas, como áreas cultivadas y áreas

urbanas con vegetación, son ignoradas. Otras clasificaciones de cobertura vegetal, incluso si consideran áreas agrícolas, no describen estas clases con el mismo nivel de detalle como aquel utilizado para áreas con vegetación natural. Al contrario, los sistemas usados para describir áreas agrícolas brindan muy pocos detalles en su descripción respecto a vegetación natural (Di Gregorio, 2005).

1.17 Imágenes satelitales Landsat

Por más de tres décadas los satelitales Landsat han capturado información que ha permitido realizar estudios y evaluar los cambios producidos. Fue el primer programa de satélites de percepción remota para observación de los recursos terrestres. Desde el lanzamiento del primer satélite en 1972 con el sensor *Multispectral Scanner* (MSS) los desafíos por contar con un mejor producto no ha cesado. Así, desde 1984 se cuenta con el sensor *Thematic Mapper* (TM) y a partir de 1999 con *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+). Son estos últimos los que se mantienen operativos.

Entre ellos presentan algunas diferencias como la incorporación de una banda pancromática, con una resolución² (Anexo 2) de 15 m en el sensor ETM+, pero al considerar que el área que cubre una sola imagen (escena) se mantiene en los 185 x 185 km y que el período de revolución es de 16 días, hace que sea una buena alternativa para realizar estudios multitemporales (ESRI, 2009).

1.18 Los satélites CBERS-1, CBERS-2, Y CBERS-2B

Los gobiernos China y Brasil firmaron el 6 de Julio de 1988 un acuerdo entre la CAST (Academia China de Tecnología Espacial) y el INPE (Instituto nacional de investigación Espacial) para el desarrollo de dos satélites avanzados de percepción remota, denominado programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite), Satélite Chino-Brasileño de recursos terrestres.

Los satélites CBERS-1 Y CBERS-2 están compuestos por dos módulos: ó carga útil³ se encuentran los sistemas ópticos compuesto por una cámara de alta resolución ó CCD, un Barredor multiespectral infrarrojo ó IRMSS y un imageador de campo de visión amplia ó WFI utilizados para la observación de la tierra y el repetidor para el

sistema Brasileiro de colecta de datos ambientales; el módulo "servicio" contiene los equipos que aseguran la provisión de energía, los controles, las telecomunicaciones y las demás funciones necesarias para la operación del satélite. (INPE, 2011).

1.19 Ecología del paisaje

La ecología del paisaje es el estudio de complejos de elementos interactuantes entre la asociación de seres vivos (biocenosis) y sus condiciones ambientales, los cuales actúan en una parte específica del paisaje. Esto se manifiesta especialmente en una muestra específica y delimitada o en una división natural de espacio en distintos órdenes de tamaño. Estos órdenes están normalmente determinados por la estructura geológica y por el estado de desarrollo geomorfológico. La distinción de las unidades espaciales homogéneas más pequeñas (fisiotopo, biotopo, ecotopo) es la expresión de la relación de intercambios entre macroclima, rocas sobresalientes, relieves, mantos acuíferos, topoclima, depósitos en el suelo, vegetación, mundo animal, microclima y clima del suelo. El paisaje local puede ser estacionario siempre que no haya una dependencia de unión con el complejo de los elementos actuantes. Los cambios en el estado geomorfológico, de acción lenta o imprevista, como también las intervenciones artificiales por la actividad económica humana, dan lugar a transformaciones del paisaje local que resumidos con el concepto de sucesión paisajística. Ésta puede ser un evento natural, como es el caso de un asentamiento inicial del suelo que produzca la formación de depósitos con las plantas y los animales (estado pionero) y que converja en un estado maduro final (climax paisajístico). Cambios del paisaje local debidos a la intervención humana en el estrato de vegetación, en las relaciones de suelo y agua por deforestación, fuego, drenajes, fertilización, riegos, poda de pastos y árboles, etc. (Sucatiev, 1953).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2. Descripción de la zona de estudio

2.1 Localización del área de estudio

La subcuenca Río Seco esta aproximadamente a 7 km de la ciudad de Tarija, limita al Nor-Este con la subcuenca quebrada de Tablada al Sud-Este con el embalse del Lago San Jacinto al Sud-Oeste con la subcuenca Río El Molino y al Nor-Oeste por el Rincón de la Victoria.

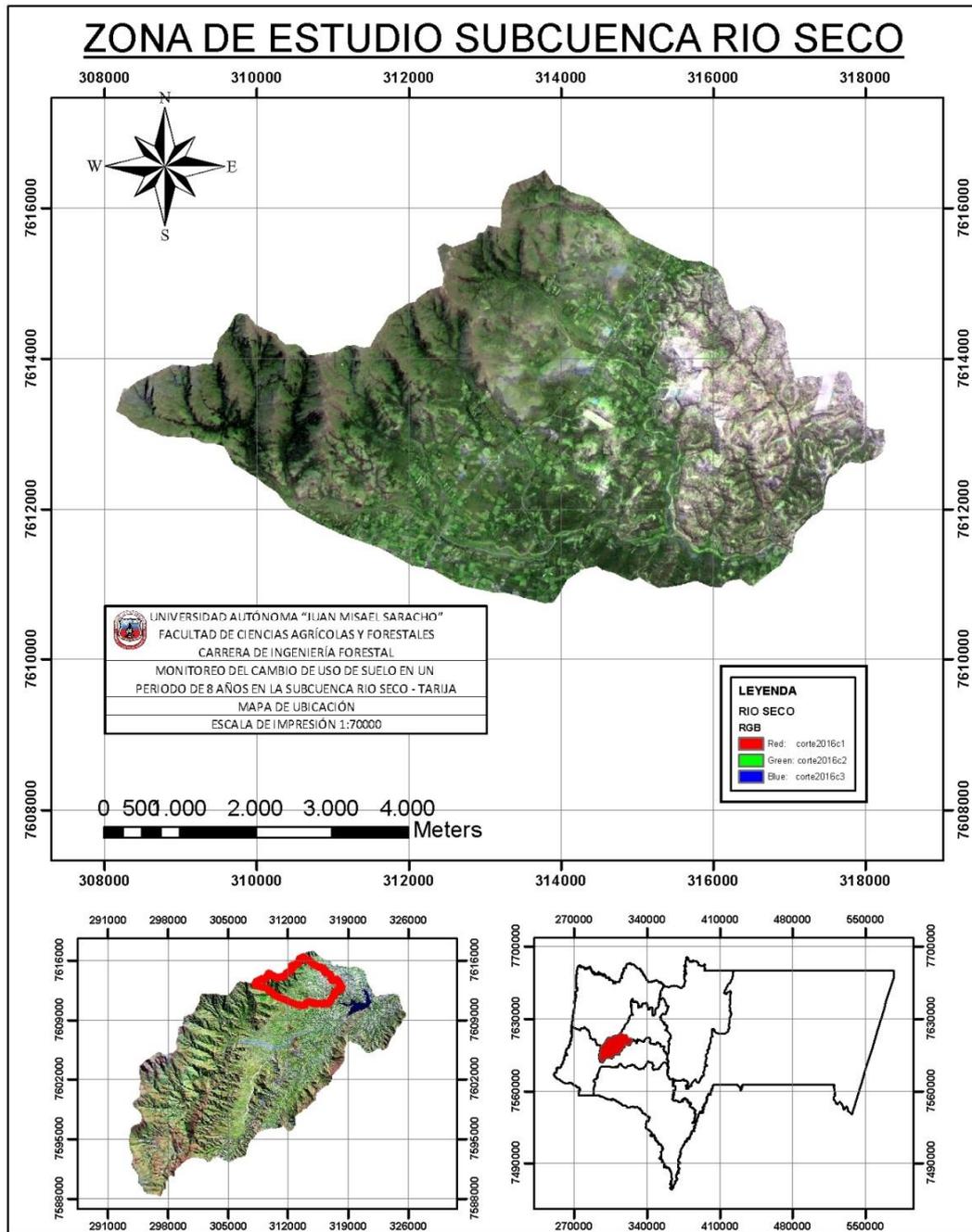
Se ubica en el sector norte de la cuenca de Tolomosa, dónde se encuentran las comunidades de Guerrahuayco (sur), Lazareto y Turumayo, en la parte central y norte, con una población de 1000 habitantes, siendo la comunidad de Guerrahuayco la más poblada. El curso principal es el Río Seco que desemboca en el embalse San Jacinto. Tiene una longitud de 7035m y una pendiente de 5%. Pertenece a la provincia Cercado del departamento de Tarija, se encuentra en las siguientes coordenadas:

CUADRO N° 1. COORDENADAS DE LA SUBCUENCA RÍO SECO

PUNTOS	COORD UTM	
	X COORD	Y COORD
PUNTO 1	308124	7616749
PUNTO 2	318295	7616749
PUNTO 3	318295	7610573
PUNTO 4	308124	7610573

Hidrográficamente la subcuenca Rio Seco pertenece al sistema hidrográfico de la cuenca Tolomosa, la subcuenca cuenta con una superficie total de 3.109 ha. (INIBREH, 2011).

MAPA N° 1. MAPA DE UBICACIÓN



2.2. Factores biofísicos

2.2.1 Clima

Las lluvias en el área de estudio como en toda la cuenca del río Tolomosa se concentran entre los meses de noviembre a marzo, siendo prácticamente nulas en los meses de mayo a septiembre. La cantidad de lluvia anual presenta diferencias dependiendo de su ubicación respecto a la cordillera.

El periodo seco se inicia en el mes de mayo y concluye en septiembre. Los caudales mínimos se presentan en el mes de septiembre y/o octubre. Las temperaturas medias anuales son del orden de los 18° C en las partes más bajas y 13° C en la parte media de la serranía. La ocurrencia de heladas se presenta en los meses de abril a septiembre (INIBREH, 2011).

El granizo se presenta generalmente en los meses de septiembre a diciembre. En los meses de julio a octubre se dan las mayores velocidades de viento, que generalmente son de orden de 10 a 20 nudos, presentándose excepcionalmente vientos que alcanzan los 50 nudos.

El clima de la subcuenca Río Seco es frío semihúmedo en la parte alta de la subcuenca y templado semiárido en la parte media y baja de la subcuenca. (INIBREH, 2011).

2.2.2 Hidrología

El cauce principal es el Río Seco que desemboca al Embalse San Jacinto, tiene una longitud de 7.035 m y una pendiente de 5 %, existen varios afluentes menores que echan sus aguas al Río Seco (INIBREH, 2011).

2.2.3 Paisaje

En la subcuenca predomina la montaña estructural alta, con paisajes de laderas en cuarcitas, areniscas y conglomerados en una superficie aproximada de 1.126 ha (36 % de la subcuenca) localizadas en el sector Noroeste; seguido por llanuras fluvio lacustres con un paisaje de terrazas fluvio-lacustres con un 24 % (752 ha) también en

el sector Noroeste; finalmente, los abanicos y pequeños valles sobre depósitos fluvio-lacustres con un 13 % (416 ha) (INIBREH, 2011).

2.2.4 Pendiente y erosión

Predomina el relieve muy escarpado (pendientes > 60 %) en la parte de laderas de la subcuenca, seguido del relieve moderadamente escarpado; con presencia de erosión ligera a moderada en forma laminar y surcos ligera a moderada, movimientos en masa lentos (terracetas); pequeños deslizamientos; erosión en cárcavas ligera, con 53 % haciendo una superficie de 1.657 ha, seguido por áreas con erosión extrema en forma de cárcavas, erosión subsuperficial, túneles, hundimientos, formación de agujeros y túneles, socabamientos y desplomes, movimientos en masa lentos afectando al 24 % de la superficie con 752 ha (INIBREH, 2011)

2.2.5 Suelos

El suelo en el área de estudio comprende tres asociaciones

Asociación cambisol ó lixisol

Asociación leptosol - regosol

Asociación regosol ó cambisol - lixisol

Asociación cambisol ó lixisol.- el paisaje geomorfológico comprende abanicos y pequeños valles sobre depósitos fluvio-lacustres, cubiertos con vegetación de matorral denso a semidenso, alto, xeromorfo deciduo por sequía, montano (Inibreh, 2011)

Estos suelos presentan texturas francas en la superficie y francas a arcillosas en el resto del perfil. La pedregosidad tanto externa como interna es muy poca a nula.

Asociación leptosol ó regosol.- se localiza en parte de la montaña estructural alta. El paisaje geomorfológico dominante comprende laderas en cuarcitas, areniscas y conglomerados y laderas en areniscas, limonitas y diamicitas, cubiertas con vegetación herbácea, semidensa, graminoide baja, mixto, montano y matorral semidenso, medio, mayormente siempre verde, semidesiduo, montano.

Los suelos son muy perjudiciales con una cantidad dominante de fragmentos gruesos y afloramientos rocosos, textura gruesa, colores pardos oscuros, pH ligeramente ácidos a neutros y fertilidad baja.

Asociación regosol ó cambisol ó lixisol.- el paisaje dominante es de terrazas fluviolacustres cubiertas con matorral ralo a semidenso, xeromorfo, mayormente espinoso, motano y matorral denso a semidenso, alto, xeromorfo, deciduo por sequía, montano.

Esta unidad presenta problemas de baja infiltración del agua de lluvia, debido a sus características de textura fina y otras. (INIBREH, 2011).

2.2.6 Vegetación

La ubicación y características de la sub cuenca Río Seco, favorecen la presencia de diferentes especies vegetales. Está formado por diversos bosques, vegetación herbácea y matorrales.

Bosque denso a ralo mayormente siempre verde, semidesiduo, montano.- se encuentra formado fajas angostas a lo largo de valles estrechos, en la parte baja de las laderas, en fondos de valles y en terrazas aluviales de ríos y quebradas.

Matorral ralo a semidenso. Es un matorral alto a medio ralo con manchas semidensas, de sustitución secundaria. Tanto la vegetación, el paisaje y los suelos son los más degradados de la sub cuenca. En la composición florística predominan especies xerofíticas espinosas como taquillo con espinas, taquillo y churqui negro (INIBREH, 2011).

Vegetación herbácea densa.- Se encuentra dentro del piso montano, con clima templado semiárido a frío semihúmedo.

La composición florística de esta unidad se presenta en forma rala. En el estrato arbustivo domina la thola cerreña, thola, salvia morada, pichana, thola macho,

romerillo thola. En el estrato herbáceo predominan los pastos pasto plomo, *Paspalum plomo* y otras especies. (INIBREH, 2011)

CUADRO N° 2. VEGETACIÓN EN LA SUBCUENCA

NOMBRE COMÚN	NOM. CIENTÍFICO	FAMILIA
Molle	<i>Schinus molle L.</i>	Anacardacea
Eucalipto	<i>Eucaliptus sp.</i>	Mirtaceae
Churqui	<i>Acacia caven (Mol).</i>	Leguminosa
Chañar	<i>Geoffroea decorticans Burkart.</i>	Leguminosa
Churqui Blanco	<i>Prosopis nigra.</i>	Leguminosa
Jarca	<i>Acacia visco.</i>	Leguminosa
Tusca	<i>Acacia aramo.</i>	Leguminosa
Algarrobo Blanco	<i>Prosopis alba.</i>	Leguminosa
Tarco	<i>Jacaranda mimosifolia.</i>	Bignoniaceae
Chilca	<i>Baccharis sp.</i>	Asteraceae
Álamo plateado	<i>Populus alba.</i>	Salicaceae
Pino de cerro	<i>Podocarpus parlatorei.</i>	Podocarpaceae
Aliso	<i>Alnus acuminata.</i>	Betulaceae
Sauce llorón	<i>Salix babilónica.</i>	Salicaceae

Sauce criollo	<i>Salix humboldtiana</i>	Salicaceae
---------------	---------------------------	------------

Fuente: JICA, 2002

2.3 MATERIALES

2.3.1. Materiales de Gabinete

- Computadora
- Impresora
- Imágenes satelitales Landsat
- Imágenes satelitales Cbers
- Mosaicos de Google Earth
- Mapas de la cuenca y subcuenca
- Software Arcgis (Arcmap)
- Programa para análisis estadístico (MICROSOFT OFFICE EXCEL), MICROSOFT WORD.
- Material de escritorio (cuaderno, lapiceras, flash)

2.3.2. Materiales de Campo

- Mapa de la zona de estudio
- Libreta de campo
- Planillas
- GPS
- Cámara fotográfica

2.4 METODOLOGÍA

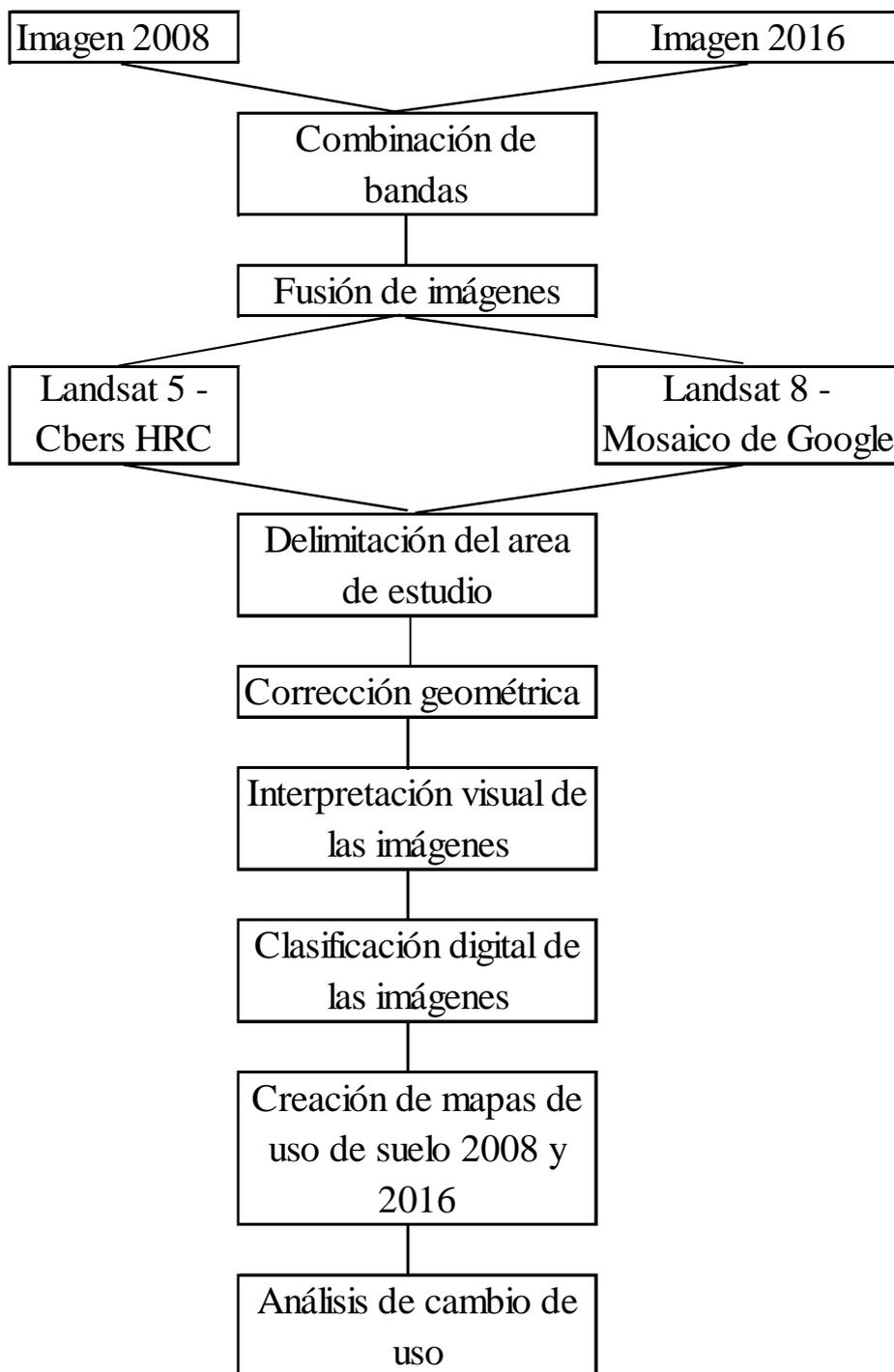


Figura N° 1. Esquema metodológico del trabajo

2.4.1 Delimitación del área de estudio

Para seleccionar el área de estudio se consideró una serie de criterios como ser la problemática en cuanto al cambio de uso del suelo, promovido por el crecimiento urbano, migración laboral hacia la ciudad y la proximidad de la subcuenca al área urbana. Tomando esto como base, se llegó a la elección de la zona de estudio Subcuenca Río Seco, porque reúne las siguientes características.

- Se realizan actividades agropecuarias.
- Crecimiento en la construcción de viviendas y urbanizaciones.
- Cercanía con la ciudad de Tarija.
- Migración laboral hacia la ciudad.
- Evidentes procesos de erosión.

2.4.2 Obtención de imágenes

Se adquirieron cuatro imágenes satelitales de los años 2008 y 2016 de los satélites Landsat y Cbers, mediante internet, (una imagen Landsat-5, una imagen Landsat-8, una imagen Cbers HRC Y una imagen de Google Earth) la imagen Landsat 5 y Cbers HRC fueron adquiridas de la siguiente página. <http://www.cbers.inpe.br/>. La imagen Landsat 8 fue adquirida de la siguiente página. <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Se realizó la creación de una cuenta mediante hotmail del suscrito en cada una de estas páginas para poder interactuar en el banco de imágenes los cuales cuentan con imágenes satelitales Landsat-1, Landsat-2, Landsat-3, Landsat-5, Landsat-7, Landsat-8, Cbers-2, Cbers-2B. La imagen de Google Earth fue descargada de la siguiente página. <http://www.google.com/intl/es/earth/>.

Las imágenes utilizadas en este proyecto son cuatro imágenes multiespectrales. Dado que, para que un análisis de detección de cambios en la cobertura del suelo tenga sentido debe existir un lapso de tiempo significativo entre la toma de ambas imágenes para que pueda expresarse ese cambio, se ha elegido para este caso una diferencia de 8 años entre ambas imágenes.

La primera imagen, corresponde a una imagen Landsat 5 con fecha 02-05-2008 la segunda imagen corresponde a una imagen Landsat 8 con fecha 17-01-2016, la tercera imagen corresponde a una imagen Cbers HRC con fecha 30-08-2008 y la cuarta imagen corresponde a un mosaico de Google Earth con fecha 03-01-2016. En los siguientes cuadros se observan las características de las siguientes imágenes.

CUADRO N° 3. CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN LANDSAT-5

Satélite	L5
Sensor	TM y MSS pancromática
Bandas	6 bandas multiespectrales + 1 banda termal
Proyección cartográfica	UTM
Resolución espacial	30 x 30 m
Orientación de la imagen	Norte cartográfico
Formato	GeoTiff
Nivel de corrección	Corrección radiométrica + corrección geométrica
Método de particionamiento	Path and Row

CUADRO N° 4. CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN LANDSAT-8

Satélite	L8
Sensor	ETM
Bandas	6 bandas multiespectrales + 2 bandas termales + 1 banda pancromática

Proyección cartográfica	UTM
Resolución espacial	15 x 15 m.
Orientación de la imagen	Norte cartográfico
Formato	GeoTiff
Nivel de corrección	Corrección radiométrica + corrección geométrica
Método de particionamiento	Path and Row

CUADRO N° 5. CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN CBERS HRC

Satélite	CB2B
Sensor	HRC
Bandas	1 banda
Proyección cartográfica	UTM
Resolución espacial	2.5 x 2.5 m.
Orientación de la imagen	Norte cartográfico
Formato	GeoTiff
Nivel de corrección	Corrección radiométrica + corrección geométrica
Método de particionamiento	Path and Row
Path and Row	173_B ó 124_4

CUADRO N° 6 CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN GOOGLE EARTH

Satélite	GeoEye-1
Sensor	CCD
Bandas	3 Bandas multiespectrales
Proyección cartográfica	UTM
Resolución espacial	1,7 x 1,7 m.
Orientación de la imagen	Norte cartográfico
Formato	JFIF
Nivel de corrección	Corrección geométrico
Método de partición	Path and Row

2.4.3 Obtención de mosaicos de Google Earth

La obtención de mosaicos de Google Earth se la realiza con la finalidad de unir todos los mosaicos para formar una sola imagen la cual se fusionaría con la imagen Landsat 8 para mejorar su resolución espacial, el primer paso para descargar estos mosaicos es seleccionar el área de interés, seguidamente se marcan puntos de control en ArcGis con sus respectivas coordenadas, se transforma los puntos a KML mediante Arctoolbox. Se procede a guardar la imagen teniendo en cuenta que el área a descargar esté libre de los anuncios y herramientas de Google Earth, el procedimiento será el mismo para la descarga de todos los mosaicos necesarios.

2.4.3.1 Unión de mosaicos de Google Earth

Unir dos o más mosaicos de imágenes en ArcGis es un proceso muy útil y sencillo, cabe señalar que los datos de entrada deben contener las mismas características. Este proceso se lo realiza con la herramienta ArcToolbox ó Data Management Tools ó Raster ó Raster dataset ó Mosaic To New Raster.

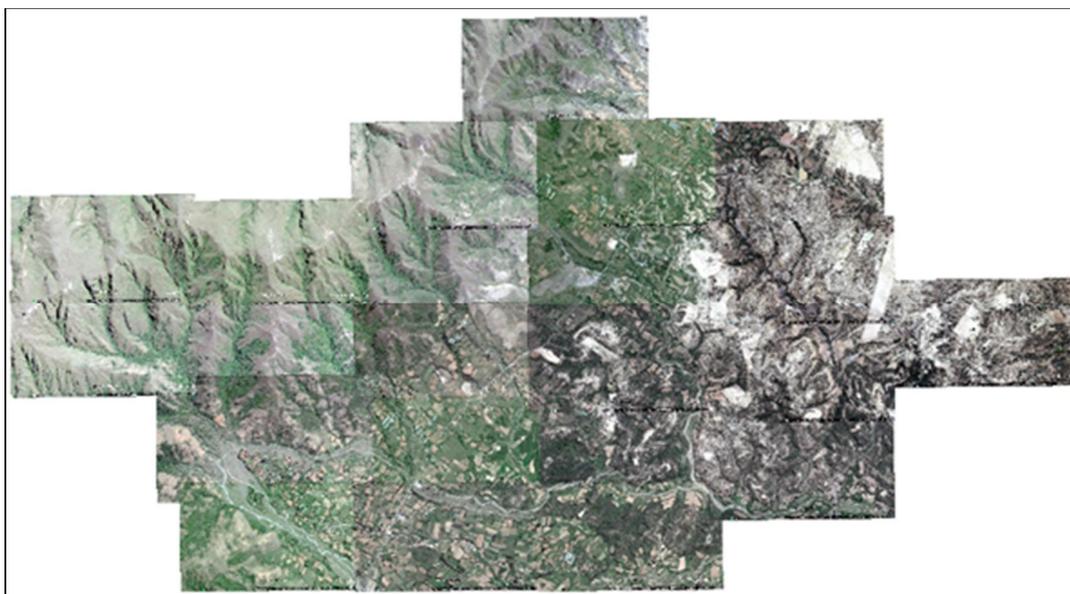


Figura N° 2. Mosaicos de Goole Earth

2.4.4 Combinación de bandas

La combinación de bandas se la realiza con el propósito de resaltar tipos de cobertura específicos y que se puedan diferenciar claramente de otros objetos. Para realizar interpretación visual con fines de mapeo de cobertura vegetal, lo fundamental es utilizar diversas composiciones a color. Las composiciones a color se generaron en base a una revisión bibliográfica y a experiencia en este campo.

Antes de clasificar las imágenes landsat-5 y landsat-8 de los años 2008 y 2016 se realizó una composición utilizando las bandas espectrales 5-4-3 para la imagen landsat-5, que comprende una resolución espectral de 7 y utilizando las bandas 7,4,2

para la imagen landsat-8, que comprende una resolución espectral de 11, se combinaron las bandas para trabajar sobre un solo archivo.

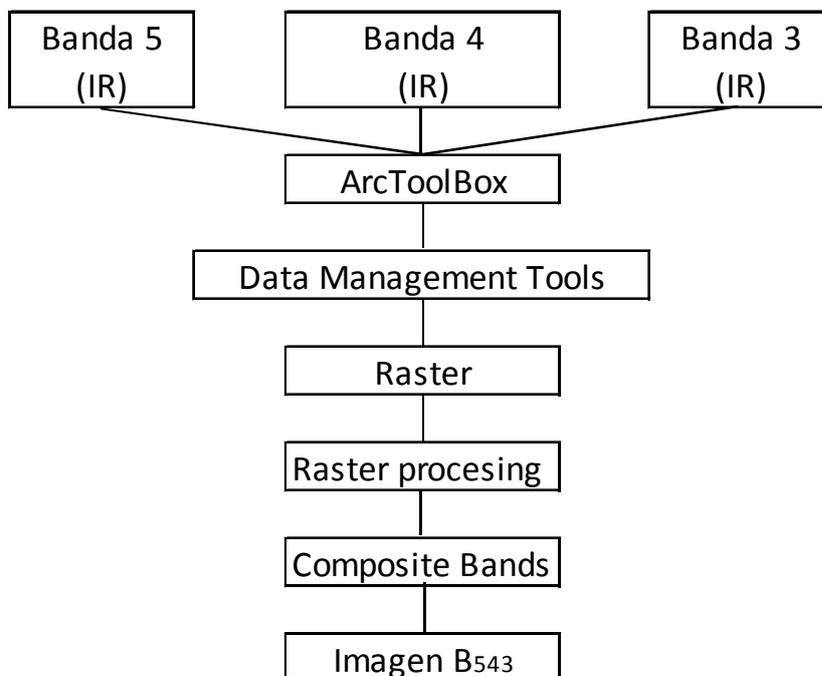


Figura N° 3. Combinación de bandas.

2.4.5 Fusión de imágenes satelitales (Landsat 5 ó Cbers HRC, Landsat 8 ó banda pancromática)

Con la fusión de la imagen Landsat 5 ó Cbers HRC, la resolución espectral composición RGB se integró en la resolución espacial banda pancromática. En otras palabras, la imagen resultante de color tendrá la resolución espacial de la imagen HRC y la resolución espectral de 3 bandas del sensor TM. La técnica de fusión se realizó con las imágenes Landsat-5 y Cbers HRC con la finalidad de mejorar la resolución espacial de la imagen Landsat 5 con una resolución de 30 metros a la de un híbrido de 2.5 metros y con colores naturales.

La fusión se la realiza entre una imagen Landsat-8 compuesta y combinada por tres bandas 7,4,2, que tiene una resolución espacial de 30 metros, con la banda pancromática que tiene una resolución espacial de 15 metros.

El proceso de fusión permite a una imagen pancromática de mayor resolución fusionarla con una combinación de bandas multiespectrales de menor resolución, obteniendo así una imagen multiespectral con la resolución de la imagen pancromática. Se emplea el software ArcGis, utilizando como imagen de alta resolución la banda 8 (de 15 metros de resolución espacial) de las imágenes Landsat 8 y para la imagen color, se usa la combinación RGB de bandas 7,4,2 (de 30 metros de resolución espacial).

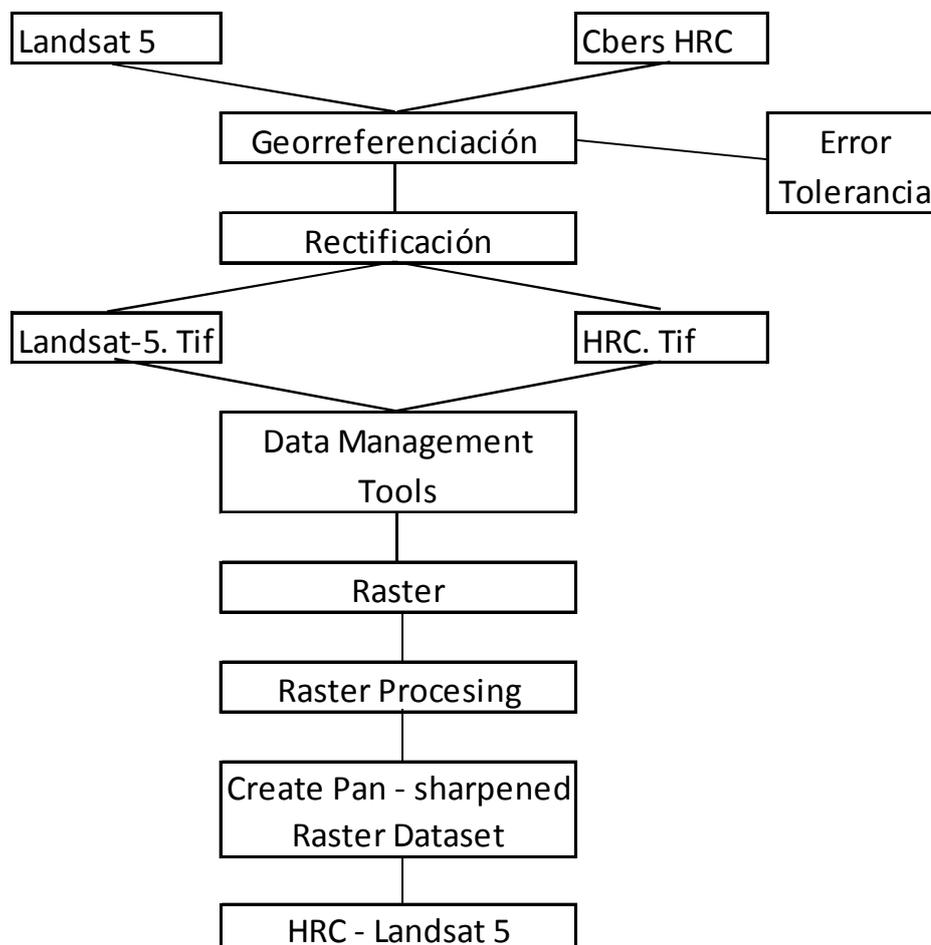


Figura N° 4. Fusión de imágenes satelitales.

2.4.6 Corte de la imagen satelital

El corte de la imagen se lo realiza con el fin de trabajar exclusivamente en el área de interés, el corte es de sencilla ejecución, se corta con la herramienta ArcToolbox ó Spatial Analyst Tools ó Extraction ó Extract by Mask. Mediante un polígono de corte o area de interés.

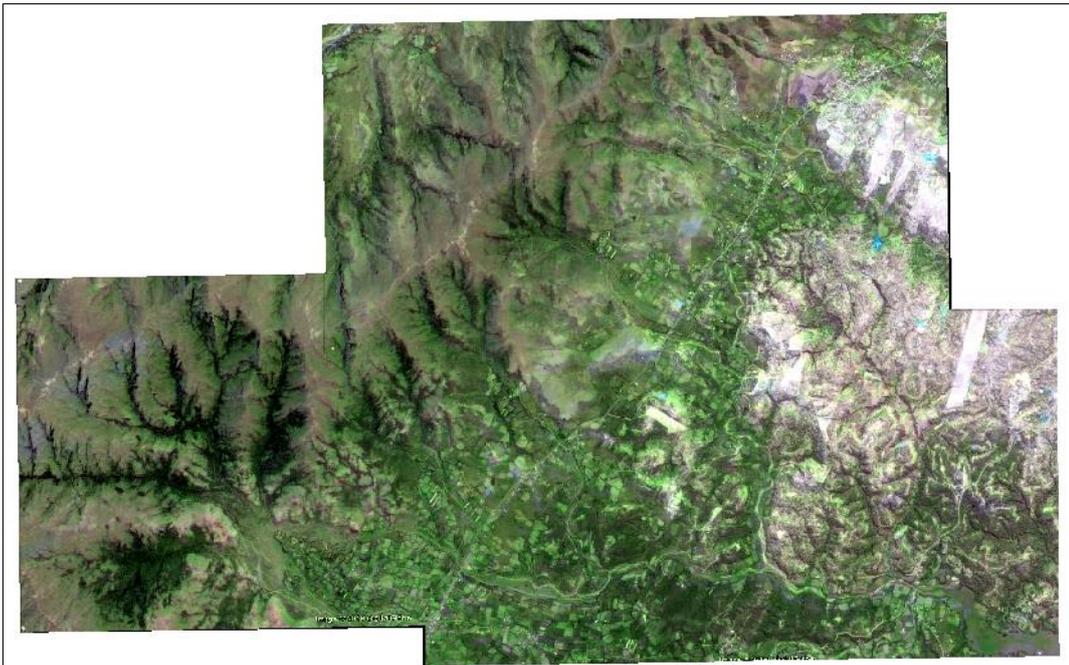




Figura N° 5. Corte de la imagen satelital.

2.4.7 Corrección Geométrica

Para la comparación multitemporal las imágenes se ajustaron con gran nivel de detalle, con la finalidad de evitar la detección de transformaciones por falta de ajuste geométrico.

Se utilizó una imagen de Tarija ya georreferenciada que sirvió de base para el ajuste de las imágenes no georreferenciadas, colocando puntos fácilmente reconocibles en la imagen, como cruces de caminos, desembocaduras de ríos, unión de cultivos agrícolas, puntas de los cerros, construcciones o rasgos fisiográficos que no sean demasiado dinámicos, estos puntos están distribuidos de manera homogénea en la imagen y siguiendo las manecillas del reloj, el nivel de precisión alcanzado en la georreferencia depende en gran medida de la fuente de información geográfica utilizada, es decir de la imagen base utilizada para georreferenciar, la cantidad de puntos necesarios para una buena georreferenciación depende del relieve del área y del grado de precisión requerido, mientras más se usen mejor, buscando que los puntos no tengan dinamismo temporal y es importante que la distribución sea

uniforme en toda la imagen y que no estén concentrados todos los puntos en un solo sector.

El proceso de georreferenciación en arcgis comienza con la superposición de la imagen a georreferenciar sobre una ya georreferenciada, se activa georeferencing y mediante la herramienta Add Control Points se añaden los puntos de control en este caso fueron añadidos 47 puntos de control distribuidos por toda la subcuenca, posteriormente con la herramienta View Link Table se visualizan los puntos de control y se determina el error que fue de 21 un error que es aceptable para esta georreferenciación ya que el error permitido es de 30.

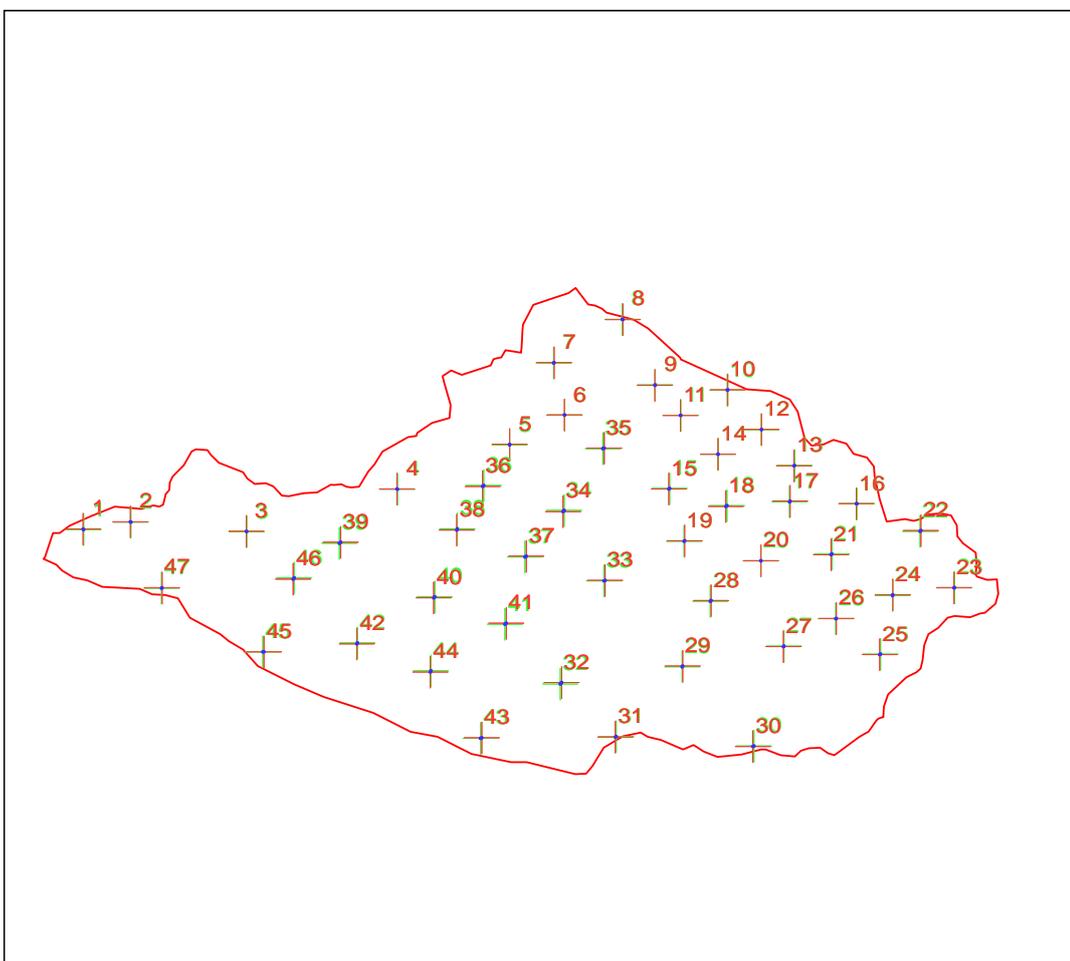


Figura N° 6. Puntos de corrección geométrica.

2.4.8 Interpretación visual de la imagen

El análisis visual consistió en determinar las diferentes categorías de vegetación en el área de estudio, se procedió a interpretar los macropatrones de cobertura. Esta interpretación visual se fundamentó en los estándares de interpretación como son la textura, el tono, el color, así como la variabilidad de realce. Esto ayudo a la comprensión de nuestra área de estudio, pero principalmente en la generación de la leyenda.

2.4.8.1 Proceso de interpretación

- Detección, reconocimiento e identificación

La detección, consiste en el descubrimiento de que algo está ahí, el reconocimiento, por el cual el intérprete reconoce un objeto familiar sobre la base de su forma, tamaño y otras propiedades visibles. Finalmente está el paso de la identificación, en el cual el objeto o característica es identificado como algo conocido por un nombre o término.

2.4.9 Clasificación digital de la imagen

Para obtener una buena clasificación es necesario el previo conocimiento de la zona de estudio, cada imagen fue clasificada por separado aplicando el método supervisado con la misma leyenda temática en las dos fechas, para poder compararla posteriormente. Para la digitalización primeramente se definió la escala del trabajo 1:10000, las unidades determinadas en esta clasificación se fijaron a través de áreas representativas del suelo.

usofin		DESCRIPCIÓN
		Forestal con extracción de leña para subsistencia.
		Pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico.
		Pastoreo extensivo con ganado vacuno.
		Pastoreo intensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino) con extracción de leña.
		Lecho de río con pesca deportiva.
		Pastoreo extensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino).
	▶	Forestal con extracción de productos maderables para aserrío y construcción de muebles.
		Bosque implantado para protección.
		Asentamientos residenciales conjuntos.
		Agricultura permanente tradicional.
		Pastoreo extensivo con ganado vacuno y extracción de leña.

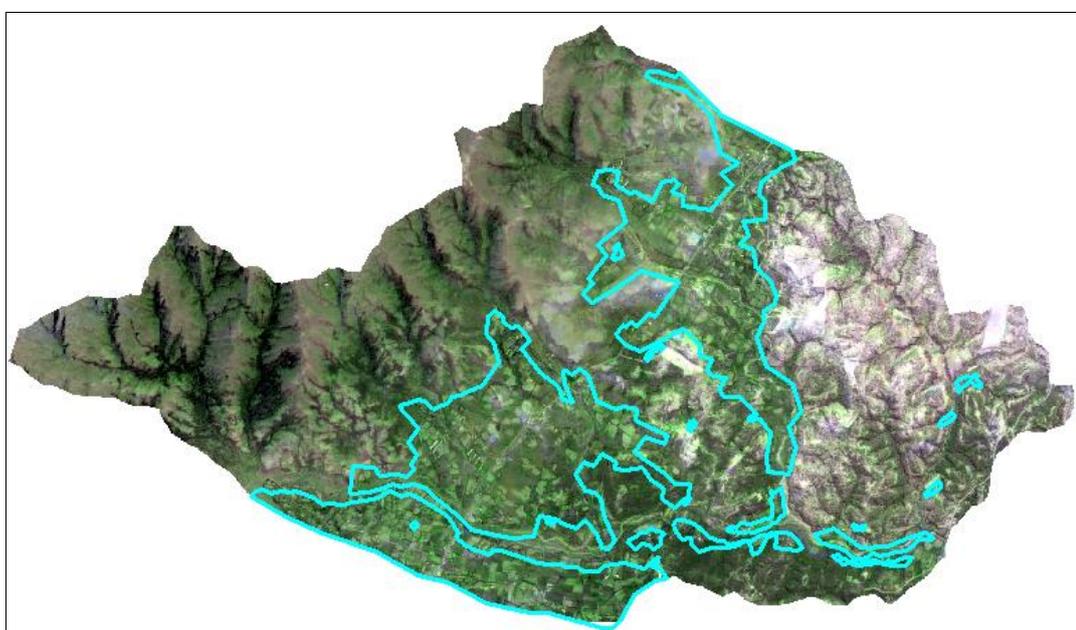


Figura N° 7. Clasificación digital de la imagen.

2.4.10 Creación de la leyenda

La creación de la leyenda se la realizó utilizando la clasificación de Uso y Cobertura de la tierra de ITC de Holanda acomodada por la IGAC para la clasificación de la cobertura terrestre se han identificado criterios clasificadores para las diferentes categorías de cobertura vegetal. Las categorías fueron creadas considerando simplemente la interpretación visual. La leyenda refleja el agrupamiento de las diferentes unidades (Agricultura, forestal, pastoreo, asentamientos y otros usos).

CUADRO N° 7. LEYENDA DE CLASIFICACIÓN DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA

1° Nivel	2° Nivel	3° Nivel	4° Nivel
Exploratorio	Reconocimiento	Semi-detalle	Detallado
1. Construcciones	a. Urbano	1. Residencial 2. Industrial 3. Comercial 4. Educativos 5. Recreativos	Unifamiliares, multifamiliares, hoteles. Textil, metalmecánica, transporte, artesanal, fabril. Supermercados, repuestos, zonas abiertas, centros cerrados. Colegio, escuelas, universidad elemental superior. Parques cines, clubes.
	b. Rural	1. Nucleado 2. Dispersos	Caseríos, industrias, parques Viviendas, galpones, corrales bodegas, invernaderos.
	a. Perennes o semiperennes	1. Irrigados 2. No irrigados	Frutales, caña, cultivos comerciales. Café, banano, palma de aceite.

2. Cultivos y parcelas	b. Temporales	1. Irrigados 2. No irrigados	Espigas líneas, forrajes, habas, tomates, flores, cultivos comerciales. Espigas líneas, barbecho, algodón.
	c. Confinados	1. Horticultura 2. Flores 3. Viveros	Lechuga, repollos, rábanos. Claveles, rosas, anturios.
3. Vegetación herbácea descubierta.	a. Pastizales naturales.	1. Herbáceos 2. Arbustivos	Géneros, protección, pastoreo. Géneros, características fisonómicas, estructura florística.
	b. Potreros o dehesas.	1. Irrigados 2. No irrigados	Leguminosas, gramíneas, especies. Mezcla, especies.
	c. Tundras o páramos.	1. Herbáceos 2. Arbustivos	Géneros, especies. Protección, pastoreo.
	a. Natural	1. Latifoliadas 2. Coníferas	Protector comercial especies dominancia, posición fisiográfica, densidad. Protector comercial especies dominancia, posición fisiográfica, densidad.

4. Bosques y/o montes		3. Matorral	Protector comercial especies dominancia, posición fisiográfica, densidad.
	b. Plantado	1. Latifoliadas 2. Coníferas 3. Reforestación	Protector, comercial, especies, densidad. Protector, comercial, especies, densidad. Protector, comercial, especies, densidad.
5. Cuerpos de agua	a. Superficies libres.	1. Natural 2. Artificial	Lagos, nieves hielos. Represas
	b. Pantanos	1. Permanentes 2. Temporales	Hierbas, eutróficas, arbustos Hierbas, arbustos.
6.- Tierras eriales	a.- Rocas expuestas	1.- Masivos 2.- Fragmentos	Escarpes, inselbergs, etc. Debris, coluvios.
	b.- Suelo desnudo	1.- Erosión provocada 2.- Erosión natural 3.- Canteras y minas 4.- Riberas de playas 5.- Dunas	Surcos, cárcavas, remoción en masa. Movimientos en masa. Arenas calizas, otros. Bravas arenas turismo.

CUADRO N° 8. CLASIFICACIÓN DE USO DE LA TIERRA

1° Nivel	2° Nivel	3° Nivel	4° Nivel
Función	Propósito o carácter	Modalidad	Tipo o clase
1. Asentamientos e infraestructura	a. Residencial	1. Unifamiliar	Densidad pisos
		2. Bifamiliar	Densidad pisos
		3. Conjuntos	Densidad pisos Facilidades de servicios
	b. Industrial	1. Transformación / procesamiento	Químicos, materias primas
		2. Producción de bienes	Muebles, autos máquinas
	c. Recreacional	1. Parques	Infantiles, adultos
		2. Conjuntos deportivos	Tipo deporte
		3. Mixtos	
	2. Agricultura	a. Permanente	1. Tecnificada

		2. Tradicional	Frutales, materias primas
	b. Temporal	1. Comercial / industrial	Textiles, concentrado
		2. Subsistencia	Alimentos básicos
3. Pastoreo	a. Vacuno	1. Intensivo	Leche, carne, doble propósito
		2. Extensivo	Carne, pieles
	b. Otros	1. Extensivo	Carne, pieles
		2. Pastoril	Subsistencia
4. Forestal	a. Madera	1. Aserrío	Muebles, construcción
		2. Triples	Muebles, puertas
	b. Pulpa	1. Papel	Periódico, Bond
		2. Cartón	Empaques
	c. Leña, carbón, postes	1. Industrial / comercial	Energía, servicios
		2. Subsistencia	Energía
5. Conservación	a. Reserva natural	1. Flora	Relictos ecológicos climáticos
		2. Fauna	Especies en peligro de

			extinción
		3. Agua	Manantiales, cauces lagunas
		4. Mixto	
	b. Recreación	1. Camping	Casetas, carpas
		2. Excursiones	Turismo investigación
		3. Deportes	Alpinismo supervivencia, acuáticos
	c. Protección de cuencas	1. Producción de agua	Acueductos, energía riego, mixto
			Diques, gaviones, mampostería
		2. Control torrentes y suelos	Barreras vivas muertas
			Plantaciones vegetales
		3. Aprovechamiento de recursos	Tala forestal selectiva, medidas agrícolas de conservación
6. Otros usos	a. Caza	1. Deportiva	Cotos, vedas y temporadas
		2. Control	Especies dañinas
	b. Pesca	1. Deportiva	Anzuelo, tiro, perdigón

		2. Industrial	Redes
	c. Minería	1. Industria construcción	Metalmecánica, energía Vías, edificios
7. Sin uso			

2.4.11 Análisis y detección de cambios

Cada imagen fue clasificada por separado, con la misma leyenda temática en las dos fechas, para poder compararlas posteriormente. Para el análisis entre periodos se sobrepusieron las imágenes y se analizaron cada uno de los usos respectivos verificando las pérdidas o ganancias que existe entre los periodos. Con esta información se genera el mapa temático del año 2016 calculando la superficie absoluta.

2.4.13 Trabajo de campo

Tras los trabajos realizados en gabinete se efectúa la verificación de datos en el área sobre uso actual y cobertura vegetal, mediante un recorrido por las diferentes unidades identificadas, para este proceso se ha utilizado un GPS, una cámara digital fotográfica y el mapa de uso de suelo del año 2016, a fin de determinar los siguientes usos y coberturas: Construcciones, Cultivos y parcelas, Vegetación herbácea descubierta, Bosques y/o montes, Cuerpos de agua, Agricultura, Pastoreo, Forestal, Otros usos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cartografía y tabla de descripción generada para cada uno de los años

Se generó la cartografía para cada año respectivamente, notando ciertas diferencias o cambio de uso de suelo las cuales fueron corroboradas mediante el trabajo de campo con la verificación de puntos de control. Esta cartografía viene acompañada de su respectiva tabla de descripción de las unidades de suelo.

3.1.1 Cartografía y tabla de descripción generada para el año 2008

El mapa N° 2 y cuadro N° 9 muestran la identificación de las unidades de uso de suelo para este año, siendo 10 unidades descritas y codificadas mediante la simbología utilizada por la leyenda de uso de suelo de la ITC de Holanda acomodada por la IGAC. El cuadro contiene la superficie en hectáreas que concierne a cada unidad con su respectivo porcentaje del total de la subcuenca.

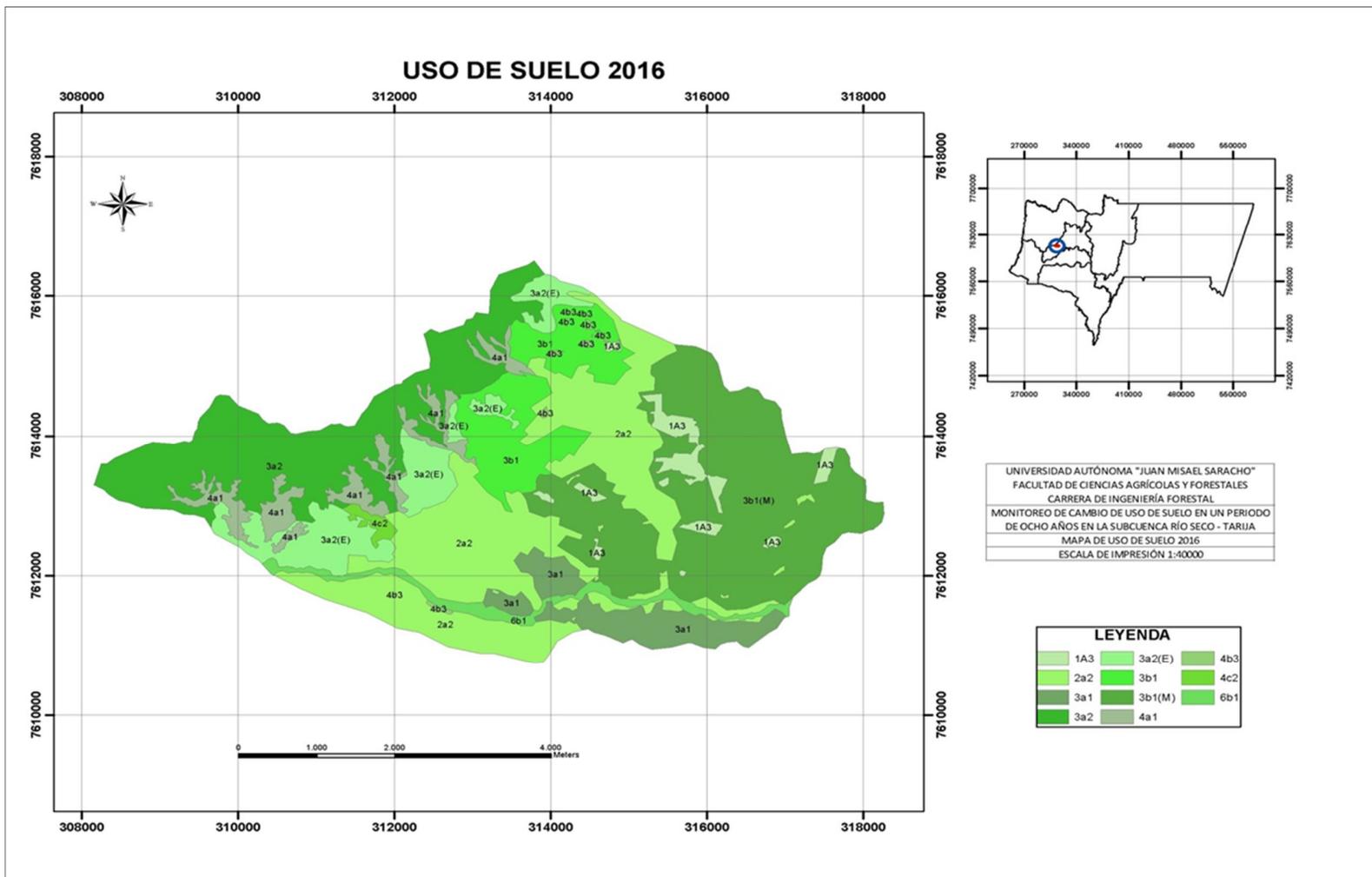
CUADRO N° 9. USO DE SUELO 2008

Descripción 2008	Hectáreas	%
Pastoreo intensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino) con extracción de leña.	172,65	5,55%
Pastoreo extensivo con ganado vacuno.	555,81	17,87%
Pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico.	865,6	27,84%
Pastoreo extensivo con ganado vacuno y extracción de leña.	234,86	7,55%
Pastoreo extensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino).	267,02	8,59%
Lecho de río con pesca deportiva.	74,67	2,40%
Forestal con extracción de productos maderables para aserrío y construcción de muebles.	144,74	4,65%
Forestal con extracción de leña para subsistencia.	15,36	0,49%
Bosque implantado para protección.	7,85	0,25%
Agricultura permanente tradicional.	770,88	24,79%

3.1.2 Cartografía y tabla de descripción generada para el año 2016

El mapa N° 3 y cuadro N° 10 muestra las unidades descritas de uso de suelo para este año, teniendo el aumento de una unidad más en comparación con la descripción del mapa del año 2008 la nueva unidad es descrita como Asentamientos residenciales conjuntos. En este mapa se puede observar el cambio de uso de suelo con relación al mapa anterior.

MAPA N° 3. MAPA DE USO DE SUELO 2016



CUADRO N° 10. USO DE SUELO 2016

Descripción 2016	Hectáreas	%
Pastoreo intensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino) con extracción de leña.	172,10	5,53
Pastoreo extensivo con ganado vacuno.	555,81	17,87
Pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico.	786,78	25,30
Pastoreo extensivo con ganado vacuno y extracción de leña.	234,86	7,55
Pastoreo extensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino).	264,71	8,51
Lecho de río con pesca deportiva.	74,67	2,40
Forestal con extracción de productos maderables para aserrío y construcción de muebles.	144,74	4,65
Forestal con extracción de leña para subsistencia.	15,36	0,49
Bosque implantado para protección.	7,85	0,25
Agricultura permanente tradicional.	777,07	24,99
Asentamientos residenciales conjuntos.	75,49	2,43

3.2 Identificación de las unidades de uso de suelo para el periodo 2008 ó 2016.

Mediante la comparación, visualización y verificación en la subcuenca, se pudieron determinar 10 unidades de uso de suelo para el año 2008 y 11 unidades diferentes de uso de suelo para el año 2016, las unidades de uso de suelo son creadas por la combinación de conjuntos de clasificadores predefinidos, que proveen unidades con nombres y definiciones claras. Las unidades identificadas de uso de suelo según la

descripción de uso de suelo de 2016 se caracterizan por presentar los siguientes rasgos.

3.2.1 Pastoreo intensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino) con extracción de leña.

Esta unidad está ubicada en la parte baja de la subcuenca en la zona Sur entre las cotas 1880 como mínima y 1960 como máxima, pertenece a la comunidad de Guerrahuayco, abarcando una superficie de 172,1 has. Con un porcentaje de 5,53 % del área total de la subcuenca. La vegetación está constituida por el estrato arbustivo formado por churquis (*Acacia caven (Mol)*), Taquillo (*Prosopis alpataco*), Tipa (*Tipuana tipu*), molle (*Schinus molle L*), algarrobo (*Prosopis sp*).

3.2.2 Pastoreo extensivo con ganado vacuno

La presente unidad descrita está ubicada en las tres zonas alta, media y baja con un menor porcentaje en la zona baja de la subcuenca, se desarrolla en el piso ecológico montano y subalpino al norte de la subcuenca entre las cotas 2080 como mínima y 3200 como máxima, pertenece a la comunidad de Lazareto, abarcando una superficie de 555,81 has. Con un porcentaje de 17,87 % del área total de la subcuenca. La presente está compuesta por vegetación herbácea y especies arbustivas en forma aislada.

3.2.3 Pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico

Esta unidad está ubicada en la parte baja zona Este de la subcuenca entre las cotas 1840 como mínima y 1980 como máxima, pertenece a las comunidades de Guerrahuayco y Turumayo, abarcando una superficie de 786,78 has. Con un porcentaje de 25,30% del área total de la subcuenca. La vegetación está caracterizada por un matorral ralo integrado por churqui (*Acacia caven (Mol)*), taquillo (*Prosopis sp*), algarrobo (*Prosopis alpataco*) y gran parte de vegetación herbácea.

3.2.4 Pastoreo extensivo con ganado vacuno y extracción de leña

Esta unidad está ubicada en la parte media y baja recorre las zonas norte y oeste de la subcuenca entre las cotas 2060 como mínima y 2440 como máxima, pertenece a las

tres comunidades Turumayo, Lazareto y Guerrahuayco, abarcando una superficie de 234,86 has. Con un porcentaje de 7,55 % del área total de la subcuenca. La vegetación de esta unidad está formada por arbustos como la thola (*Eupatorium bunniifolium*) y la chacatea (*Dodonea viscosa*).

3.2.5 Pastoreo extensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino)

Esta unidad está ubicada en la parte media y baja en la zona norte y centro de la subcuenca entre las cotas 1980 como mínima y 2360 como máxima, pertenece a las tres 3 comunidades Turumayo, Lazareto y Guerrahuayco, abarcando una superficie de 264,71 has. Con un porcentaje de 8,51% del área total de la subcuenca. Esta unidad está compuesta por vegetación herbácea sin sinusia arbustiva.

3.2.6 Lecho de río con pesca deportiva.

Esta unidad se ubica en la parte baja zona Sur de la subcuenca entre las cotas 1900 como mínima y 2080 como máxima, pertenece a la comunidad de Guerrahuayco, abarcando una superficie de 74,67 has. Con un porcentaje de 2,40 % del área total de la subcuenca.

3.2.7 Forestal con extracción de productos maderables para aserrío y construcción de muebles.

Esta unidad se ubica en la parte alta, media y baja, abarca la zona Norte y Oeste de la subcuenca entre las cotas 2080 como mínima y 2520 como máxima, pertenece a las comunidades de Lazareto y Guerrahuayco, abarcando una superficie de 144,74 has. Con un porcentaje de 4,65 % del área total de la subcuenca. Esta unidad es un bosque denso, las especies dominantes son pino del cerro (*Podocarpus parlatorei*), aliso flojo (*Myrica pubscens*), aliso blanco (*Alnus acuminata*).

3.2.8 Forestal con extracción de leña para subsistencia

Esta unidad se ubica en la parte baja, en la zona Oeste de la subcuenca entre las cotas 2060 como mínima y 2220 como máxima, pertenece a la comunidad de Guerrahuayco, abarcando una superficie de 15,36 has. Con un porcentaje de 0,49 % del área total de la subcuenca. Esta unidad es un bosque semidenso a ralo, las

especies más representativas son aliso flojo (*Myrica pubscens*), pino del cerro (*Podocarpus parlatorei*), chacatea (*Dodones viscosa*), Thola (*Eupatorium bunniifolium*).

3.2.9 Bosque implantado para protección

Esta unidad se ubica en la parte media y baja, en las zonas Norte y Sur de la subcuenca, pertenece a las comunidades de Turumayo y Guerrahuayco, abarcando una superficie de 7,85 has. Con un porcentaje de 0,25 % del área total de la subcuenca. Es una plantación con fines de protección de suelos, formados por casuarina (*Casuarina equisetifolia*), y eucalipto (*Eucalyptus sp.*).

3.2.10 Agricultura permanente tradicional

Esta unidad está ubicada en la parte baja, únicamente no llega abarcar la zona norte de la subcuenca, pertenece a las tres comunidades Turumayo, Lazareto y Guerrahuayco, cuenta con una superficie de 777,07 has. Con un porcentaje 24,99 % del área total de la subcuenca. Los cultivos más característicos son la papa, maíz, arveja y hortalizas, con plantas frutales dispersas.

3.2.11 Asentamientos residenciales conjuntos

Esta unidad está ubicada en la parte baja, en la zona Este de la subcuenca, comprendiendo las comunidades de Turumayo y Guerrahuayco, cuenta con una superficie de 75,49 has. Con un porcentaje del 2,43 % del área total de la subcuenca. Estos asentamientos son áreas urbanizadas o en proceso de loteamientos.

3.3 Determinación del grado de avance o retroceso en las unidades de uso de suelo.

CUADRO N° 11. CAMBIO DE USO DE SUELO EN HECTÁREAS Y PORCENTAJES.

Unidades de cambio de uso de suelo	Has 2008	% 2008	Has 2016	% 2016
Pastoreo intensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino) con extracción de leña.	172,65	5,55%	172,10	5,53%
Pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico.	865,6	27,84%	786,78	25,30%
Pastoreo extensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino)	267,02	8,59%	264,71	8,51%
Agricultura permanente tradicional.	770,88	24,79%	777,07	24,99%
Asentamientos residenciales conjuntos.	-----	-----	75,49	2,43%

La cartografía generada para cada año respectivamente, permitió analizar el dinamismo de cambio que se generó en la subcuenca Río Seco.

El cuadro N° 11, presenta los datos que determinan el avance y retroceso de las diferentes unidades descritas en el periodo 2008 ó 2016. En este periodo de tiempo hubo cambio de uso de suelo en 4 unidades y se incrementó una unidad más a la descripción del mapa del año 2016, la nueva unidad fue descrita como asentamientos residenciales conjuntos.

3.3.1 Cambio de uso de suelo en la unidad de pastoreo intensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino) con extracción de leña.

La figura N° 8, muestra un cambio de uso de suelo insignificante siendo la unidad que presenta menor cambio en cuanto a retroceso de superficie, en el año 2008 contaba con 172,65 hectáreas y para el año 2016 cuenta con una superficie de 172,10 hectáreas, esta superficie sufrió un retroceso de 0,55 hectáreas, que porcentualmente sería 0,02 % del total de la subcuenca.

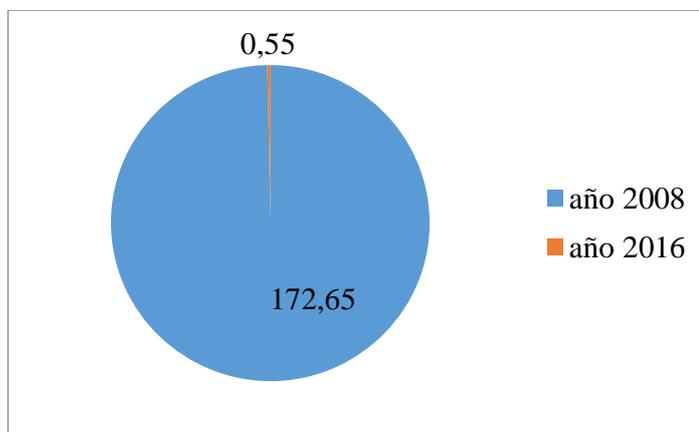


Figura N° 8. Pastoreo intensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino) con extracción de leña.

3.3.2 Cambio de uso de suelo en la unidad de pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico

La figura N° 9, muestra a la unidad que presenta mayor cambio de uso de suelo en cuanto al retroceso de superficie, en el año 2008 contaba con 865,60 hectáreas y para el año 2016 cuenta con una superficie de 786,78 hectáreas, esta superficie sufrió un retroceso de 78,82 hectáreas, que porcentualmente sería 2,54 % del total de la subcuenca. La pérdida de superficie de esta unidad va en desarrollo de las unidades agricultura permanente tradicional y asentamientos residenciales conjuntos.

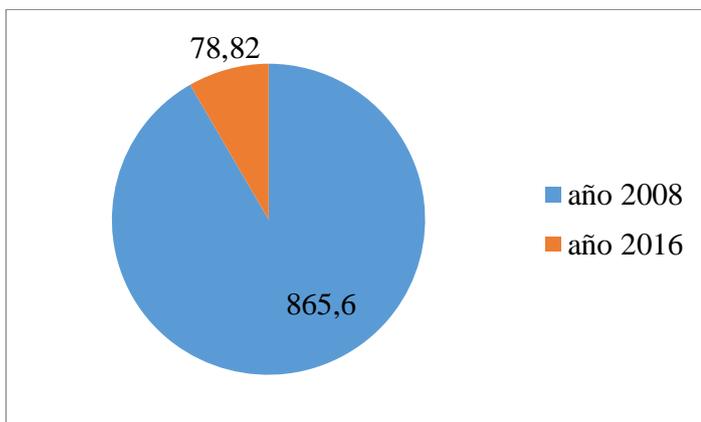


Figura N° 9. Pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico.

3.3.3 Cambio de uso de suelo en la unidad de pastoreo extensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino)

La figura N° 10, muestra un cambio mínimo en la unidad que presenta un retroceso de superficie el cual no es muy considerable, en el año 2008 contaba con 267,02 hectáreas y para el año 2016 cuenta con una superficie de 264,71 hectáreas, esta superficie sufrió un retroceso de 2,31 hectáreas, que porcentualmente sería 0,08 % del total de la subcuenca. La pérdida de superficie de ésta unidad va en desarrollo de la unidad de asentamientos residenciales conjuntos.

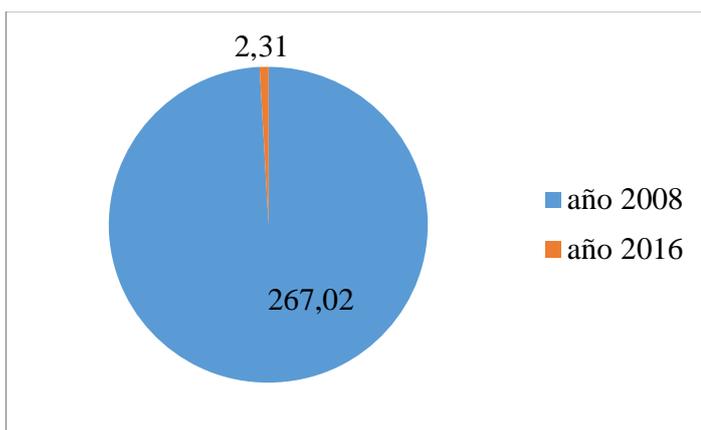


Figura N° 10. Pastoreo extensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino)

3.3.4 Cambio de uso de suelo en la unidad de agricultura permanente tradicional

La figura N° 11, muestra un cambio mínimo en la unidad que presenta un cambio en avance de superficie, en el año 2008 contaba con 770,88 hectáreas y para el año 2016 cuenta con una superficie de 777,07 hectáreas, esta superficie tuvo un avance de 6,19 hectáreas, que porcentualmente sería 0,20% del total de la subcuenca. El progreso de ésta unidad va en desmedro de la unidad de pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico.

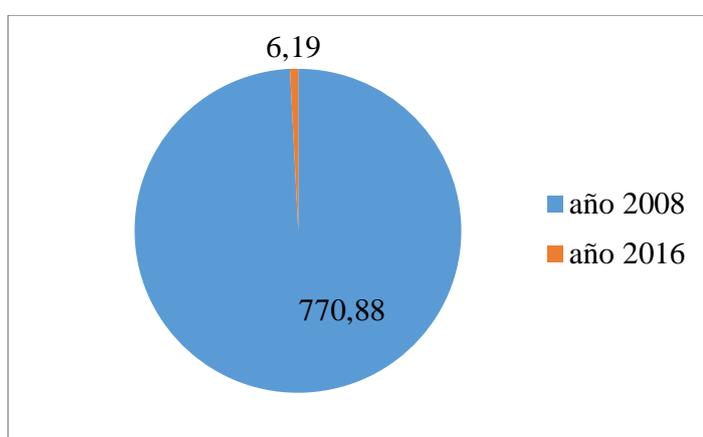


Figura N° 11. Agricultura permanente tradicional

3.3.5 Cambio de uso de suelo en la unidad de asentamientos residenciales conjuntos

La figura N° 12, muestra una unidad que no estaba presente en la descripción del año 2008 y para el año 2016 contaba con una superficie de 75,49 hectáreas, registrándose como la unidad de mayor avance de superficie de toda la subcuenca. El progreso de ésta unidad va en desmedro de las unidades pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico y pastoreo extensivo con ganado mixto (vacuno, ovino y caprino).

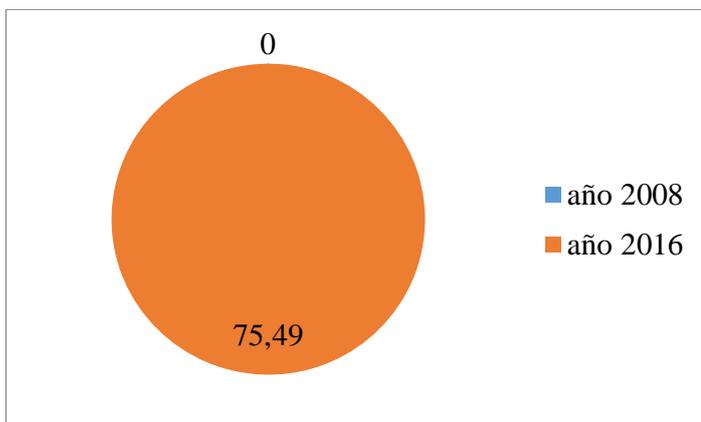


Figura N° 12. Asentamientos residenciales conjuntos

3.4 Discusión

A partir del análisis multitemporal realizado en esta investigación para determinar la dinámica del cambio de uso de suelo en la subcuenca Río Seco, se pudo apreciar el contexto rural urbano mediante la identificación de unidades de asentamientos residenciales conjuntos, el estudio comprendió una profunda revisión bibliográfica, así como la elaboración de dos mapas de uso de suelo a partir de la comparación de imágenes satelitales de diferentes años.

En este sentido es importante señalar que las principales unidades con mayor porcentaje de cambio de uso de suelo en la subcuenca son asentamientos residenciales conjuntos y pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico, el factor más importante que acelera la transformación del cambio de uso de suelo es el crecimiento poblacional que se ha producido en los últimos años en la ciudad de Tarija, este crecimiento poblacional afecta a la zona Este de la subcuenca donde se encuentra la comunidad de Turumayo siendo la comunidad más cercana a la ciudad de Tarija formando parte del radio urbano, en este sentido se observan superficies urbanizadas con delimitación de calles y otras áreas niveladas y desprovistas de vegetación para su posterior urbanización.

Todas las unidades de cambio de uso de suelo se identificaron en la parte baja de la subcuenca, parte media y alta no presentaron cambios porque gran porcentaje de estas zonas pertenecen a la Reserva biológica de la Cordillera de Sama, siendo ésta un área donde no se puede realizar actividades antrópicas que vayan en desmedro de la reserva.

La unidad con mayor cambio fue la unidad de pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico, ésta unidad presento la mayor transformación debido al cambio de actividad de parte de las personas de la comunidad ya que esta zona se encuentra en proceso de transición rural-urbano.

Los resultados del estudio demuestran de manera visual que existen cambios en áreas con pequeñas superficies que son insignificantes, no se puede observar un gran cambio en la subcuenca debido al corto lapso de tiempo del análisis multitemporal.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En base al análisis multitemporal aplicado a las dos imágenes y la aplicación de técnicas SIG, se determinaron las áreas que han sido transformadas. Estos análisis proporcionan una idea clara de donde se encuentran ubicadas las áreas con transformación debido a las acciones antropogénicas o naturales.
- La unidad de suelo con mayor dominancia en la subcuenca es Agricultura Permanente Tradicional contando con una superficie de 777.07 has. Que representa el 24,99 %.
- El principal factor para el cambio de uso de suelo en la subcuenca Río Seco se debe a la expansión de la mancha urbana y la inclusión de la comunidad de Turumayo al radio urbano de la ciudad de Tarija, este es un proceso que acrecienta la posibilidad de cambio de uso de suelo por este factor se observan áreas de transición rural-urbano en la zona Este de la subcuenca.
- La subcuenca Río Seco cuenta con un área de 3109,45 hectáreas las cuales sufrieron cambios de uso de suelo tanto en retroceso como avance de 163,36 hectáreas que representa un 5,25 %. La unidad con mayor cambio de uso de suelo fue Pastoreo extensivo con ganado vacuno y ovino, en matorral xeromórfico con un retroceso de superficie de 78,82 has, y la unidad que presenta el menor cambio de uso de suelo fue Pastoreo intensivo con ganado mixto con un retroceso de 0,55 has.
- Se describió la cobertura de la tierra para los años 2008 -2016 mediante la ITC acomodada por la IGAC. Mediante esta leyenda se crearon dos mapas de vegetación, estos mapas presentan clases de cobertura que personifican los atributos principales de la cobertura de la tierra. En el mapa de cobertura vegetal del año 2008 fueron descritas 10 unidades de cobertura vegetal entre pastoreo, forestal, Agricultura, lecho de río, asentamientos e infraestructuras y

otros usos. Para el mapa de cobertura vegetal del año 2016 fue descrita una unidad más identificada como asentamientos residenciales conjuntos.

- Todos los cambios de uso de suelo que se pudieron identificar se localizaron en la parte baja de la subcuenca esto debido a que en toda la parte alta y un porcentaje de la parte media de la subcuenca está ubicada en la Reserva biológica de la Cordillera de Sama.

RECOMENDACIONES

- Realizar planes de manejo para que los asentamientos urbanos no degraden en demasía la subcuenca.
- Realizar estudios multitemporales en zonas de desastres naturales.
- Realizar el estudio con imágenes de mayor resolución espacial para determinar con mayor detalle las unidades de cambio de uso de suelo.
- Emplear el estudio de cambio de uso de suelo en diferentes cuencas cercanas al radio urbano de la ciudad de Tarija por el cambio que se encuentra en estas zonas.
- Se recomienda realizar estudios multitemporales con periodos de tiempo más largos en los cuales se identifican mayores cambios.