

EVALUACIÓN MULTITEMPORAL EN PLANTACIONES DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus* L.), CON EL USO DE TELEDETECCIÓN Y S.I.G. EN EL MUNICIPIO DE INQUISIVI, LA PAZ

Multitemporal evaluation of eucalyptus (*Eucalyptus globulus* L.) plantations using remote sensing and G.I.S. in the municipality of Inquisivi, La Paz

Susana Gutiérrez Villalobos¹, Marcelo Tarqui Delgado²

RESUMEN

El manejo y uso sostenible de los recursos naturales influye en la calidad de vida de una población o región, también presenta un impacto en el medio ambiente, fauna y flora que habita en una determinada zona, por esta razón es importante realizar una evaluación del cambios de uso de suelos, la pérdida o alteración de cobertura vegetal, a través de la evaluación multitemporal con el objetivo de evaluar la tasa de cambio en plantaciones de eucalipto entre los periodos 1996, 2005 y 2014 a través de un estudio de dinámica espacio-temporal, con imágenes satelitales, utilizando técnicas de Sistemas Información Geográfica y Teledetección, utilizando la metodología de comparación de coberturas de imágenes satelitales, uso de un índice de vegetación-implementación de una clasificación supervisada para la obtención de categorías de coberturas y cobertura antrópicas. Los cambios de cobertura identificados en la zona de estudio son en plantaciones de eucalipto obteniéndose un incremento en la superficie de 1 256.67 ha, también presentaron cambios significativos las coberturas; arbustos y pastizales con un decrecimiento de superficie de 2 331.32 ha, la categoría de áreas cultivadas se identificó un incremento de 96.03 ha, la categoría suelos desnudos presenta un incremento de superficie de 349.45 ha, la categoría de suelos con poca cobertura vegetal incrementó 506.88 ha, también la superficie de cuerpos de agua tuvo incremento de 3.91 ha y por último los bancos de arena incrementaron 118.38 ha en el periodo 1996-2014. Por otro lado, el uso de herramientas, como los sistemas de información geográfica (SIG), teledetección, permiten realizar estudios de modelización de variables, cuantificando dimensiones y/o cambios asociados a la evolución de cobertura vegetal y uso del suelo, por actividades antropogénicas.

Palabras clave: Eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.), coberturas, evaluación multitemporal, teledetección, sistemas de información geográfica.

ABSTRACT

The management and sustainable use of natural resources influences the quality of life of a population or region, it also has an impact on the environment, fauna and flora that inhabit a given area, for this reason it is important to make an assessment of land use changes, loss or alteration of vegetation cover, through the multitemporal evaluation in order to assess the rate of change in eucalyptus plantations between the periods 1996, 2005 and 2014 through a study of spatio-temporal dynamics, with satellite images, using techniques of Geographic Information Systems and Remote Sensing, using the methodology of comparison of coverage of satellite images, use of a vegetation index-implementation of a supervised classification to obtain categories of cover and anthropic coverage. The changes in cover identified in the study zone are in eucalyptus plantations, obtaining an increase in the surface of 1 256.67 ha, also presented significant changes in the coverages; shrubs and pastures with a decrease in surface of 2 331.32 ha, the category of cultivated areas identified an increase of 96.03 ha, the bare soil category presents an increase in surface area of 349.45 ha, the category of soils with little vegetation cover increased 506.88 ha, also the surface area of water bodies had an increase of 3.91 ha and finally sand banks increased 118.38 ha in the period 1996-2014. On the other hand, the use of tools, such as geographic information systems (GIS), remote sensing, allow modeling studies of variables, quantifying dimensions and / or changes associated with the evolution of vegetation cover and land use, by anthropogenic activities.

Keywords: Eucalyptus (*Eucalyptus globulus* L.), cover, multitemporal assessment, remote sensing, geographic information systems.

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. susana.gutvil@gmail.com

² ✉ Docente, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2560-1289>. mtarqui5@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

Existen 417 858 km² de bosque nativo según el Programa Regional de Bosques Nativos Andinos en Bolivia y Ecuador (2009), bosques fuertemente degradados a consecuencia de diferentes actividades antrópicas, como son el establecimiento de áreas agrícolas tradicionales y zonas de colonización, llegando a constituir un problema de naturaleza económica (Tejedor et al., 2012).

Los bosques de montaña, especies arbustivas y herbáceas nativas, están entre los más desconocidos y más amenazados de las categorías vegetaciones, además, son actores principales en el resguardo nacientes de recursos hídricos que son de trascendente importancia para la sostenibilidad de la fauna y flora de un ecosistema, como también en la preservación de la cantidad y calidad del agua (Figueredo et al., 2020).

Los estudios de cambios de cobertura vegetal, caracterización de paisajes a través de información satelital son poco conocidas. Mas aun investigaciones de cobertura terrestre que se las realiza mediante, las denominaciones de “cobertura y uso de la tierra”. El primero hace referencia a los aspectos presentes de la superficie de la tierra, independiente de su origen (natural o antrópico) e involucra la fisonomía y composición de la cobertura vegetal. El segundo término se aplica a los tipos de ocupación o utilización que de una cobertura hace el hombre, de forma temporal o permanente (Castilla, 2003).

El criterio de González et al. (2013) citado por Figueredo et al. (2020), indica que el estudio de coberturas (biofísicas) es uno de los aspectos más importantes dentro del estudio espacial-temporal-territorial biofísico, ya que permite especificar los cambios de coberturas, generando una perspectiva y criterios ante diferentes escenarios y lapsos del tiempo (análisis multitemporales). A través de la aplicación de Teledetección Espacial y los Sistemas de Información Geográfica, juegan un rol importante en diferentes estudios esta con el fin de realizar una toma de decisiones adecuada para el manejo de los recursos naturales, es por esta razón que se necesitan herramientas que permitan conocer los continuos cambios de la cobertura terrestre a través del tiempo (Chuvienco, 2006).

El manejo correcto de la teledetección, se ha convertido en una herramienta eficaz de apoyo para la

toma de decisiones (Romero, 2016), las Imágenes Satelitales son una alternativa de oferta de información que debe ser analizada, evaluada en función de su aplicación fundamentando la necesidad de contar con sus antecedentes técnicos (Ovalles et al., 2007). La importancia para el uso de esta herramienta debe ser eficaz y eficiente, ya que implica la evaluación de la aplicación de la tecnología satelital para el monitoreo de cobertura vegetales (arbórea) a través del análisis multitemporal con imágenes satelitales Landsat (Rosero, 2018). Para abordar un estudio relacionado con la caracterización del monitoreo multitemporal, primero se debe considerar, el número y la posibilidad de desagregación de las categorías que está condicionado por la escala a la que éstas se pretenden cartografiar.

En el contexto del municipio de Inquisivi, va sufriendo en gran parte de sus suelos procesos de degradación, en el sector norte y noreste observando suelos con erosión en diferentes grados y remoción en masas, debido a actividades agropecuarias (sobre pastoreo, uso de la tierra sin practicas conservacionistas) y actividades forestales con especies exóticas (eucaliptos), en la región alta de las serranías, donde se encuentran nacientes de agua, de gran importancia para consumo humano, animal y actividades agrícola, perturbando sobre sus ecosistemas frágiles y el ciclo hidrológico, expresado en una oferta hídrica menor en la región (Tarqui, 2013).

Las forestación de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.), constituyen la formación boscosa más importante desde el punto de vista económico y productivo en la región, donde las familias campesinas se dedicaron a la producción forestal por la demanda de la actividad minera de los años sesenta a la actualidad, generando necesidad de realizar plantaciones de esta especie en áreas extensas (Gutiérrez, 2016), también dicha producción de troncos de eucalipto es empleada como madera para actividades de construcción en su mayor parte, al mismo tiempo se continúa aprovisionando con materia prima de la minería (Programa Regional de Bosques Nativos Andinos en Bolivia y Ecuador, 2009).

Ante este problema, el presente artículo tiene el objetivo de evaluar la tasa de cambio en plantaciones de eucalipto entre los periodos 1996, 2005 y 2014 a través de un estudio de dinámica espacio-temporal, con imágenes satelitales, utilizando técnicas de Sistemas Información Geográfica y Teledetección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación físico-geográfica de la zona de estudio

El estudio fue realizado en el municipio de Inquisivi del departamento de La Paz, el área de estudio presenta una superficie de 28 679.5 hectáreas, esta limita, al norte con los municipios de la Asunta, al noroeste con el municipio de Irupana ambas de la provincia Sud Yungas así también con el municipio de Cajuata (provincia Inquisivi), al oeste con los municipios de Licoma Pampa, Quime (provincia Inquisivi), al sudoeste con el municipio de Ichoca (provincia Inquisivi), al sur con municipio Colquiri (provincia Inquisivi), al sudeste con municipio de Independencia, al este municipios de Morochata estos dos últimos pertenecientes a la provincia Ayopaya del departamento de Cochabamba.

Según Tarqui (2013), indica que su caracterización fisiográfica, en su mayor porcentaje son serranías de diferente pendientes y altitud, siendo el 98.06 % del área de estudio y llanuras de inundación que cubre 1.94 % del total de la superficie. Estas unidades fisiográficas presentan pendientes de 20 a 40 % (medianamente inclinados), donde se identificó las actividades de plantaciones de eucalipto, con topografía muy accidentada, sus elevaciones influyen en gran manera en el comportamiento climático del sector, aspectos que se hacen notables en una variabilidad de ecosistemas y diversidad natural.

De acuerdo a información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2015), presenta una temperatura anual promedio de 18°C, con una temperatura mínima de 12.2°C (junio) y una temperatura máxima de 21.3°C (noviembre); característica de una zona semiárida y subhúmeda, descrita por Montes de Oca (1997) como templada y seca.

Los suelos en la parte alta exhiben un perfil con horizontes ABC, moderadamente profundos de color negro todo el perfil, textura franca limosa, estructura uniforme, granular débil con pH de 6.9. La mayor parte de los suelos se desarrollan en pendientes superiores al 20 %, son moderadamente profundos (100 cm de profundidad); la textura general es media, mezclada con grava, gravilla o piedras, la pedregosidad y afloramientos rocosos es más común en las cimas y pendientes superiores donde también se puede observar muy poco desarrollo edáfico, el contenido de materia orgánica en los bosques de origen nativo es

mayor que en los suelos agrícolas o reforestados (Programa Regional de Bosques Nativos Andinos en Bolivia y Ecuador, 2009).

Metodología

Evaluación del cambio de cobertura vegetal - recolección de información

Los cambios estudiados de las coberturas, fueron analizadas a través de imágenes satelitales, una imagen Landsat 5, Landsat 7 TM y Landsat 8 ETM+, para los años 1996, 2005 y 2014 respectivamente, con una resolución espacial (30 x 30 m, sensor OLI) y proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (WGS 84 Zona 19 S), obtenidas del servidor de internet a través de Instituto Nacional de Investigación Espacial (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE), para los meses de agosto y septiembre de los años indicados con el path/row: 233/072, donde pertenece el municipio de Inquisivi. Se empleó métodos y técnicas de teledetección, percepción remota y Sistema de Información Geográfica (SIG) a través de softwares ERDAS 2014; ArcGis 10 en el procesamiento de las imágenes.

Preprocesamiento de imágenes - procedimientos digitales

Se realizó la corrección (tipo radiométrica, geométrica y atmosférica). Con el fin de restaurar la información digital afectada por la atmósfera y el propio sistema de captura. Las correcciones radiométricas se las realizan porque afectan a la radiometría de la imagen, corrigen los niveles digitales (ND), erróneo registrado en las fases de captura y transmisión. Estos errores se deben a perturbaciones atmosféricas (corrección mediante modelos matemáticos), deficiencias en la construcción del sensor (calibración radiométrica del sensor) (Cabrera et al., 2011). Las correcciones geométricas tienen por objeto, modificar la geometría de la imagen ajustándola a un sistema geométrico dado, son necesarias debido a variaciones espaciales derivadas del movimiento del sensor; ajuste de la información a un sistema de referencia dado la corrección geométrica utilizada corresponde al sistema de proyección Universal Transversal de Mercator (Fernández-Coppel et al., 2001).

Clasificación No Supervisada - mapas preliminares

En la clasificación no supervisada, se fijó el número inicial de coberturas, donde el software asignó a los

píxeles automáticamente a las distintas categorías en base a las operaciones estadísticas, utilizando dicho método para que los datos numéricos transmitidos por los satélites de observación de la Tierra sean clasificados. Todo el proceso de clasificación no supervisada se realizó con el programa ArcGis v. 10 y su herramienta "Unsupervised Classification". Luego se procedió a asignar colores a cada categoría mediante el comando: View – Raster- Attributes. Y de esta manera se obtuvo los mapas de clasificación de cobertura y uso de suelo.

Etapas de campo

En el municipio de Inquisivi se corroboró y evidenció los resultados obtenidos de las coberturas obtenidas de la clasificación no supervisada, con el fin de identificarlas y georreferenciarlas en el área de producción de eucalipto en la imagen satelital. Así obtener un mayor grado de precisión y alcance, se calculó la superficie de acuerdo al perímetro recorrido. Para la obtención de puntos de referencia se utilizó el navegador GPS-GARMIN Etrex VENTURE HC, que tiene una precisión de 5 m de error mínimo. Determina con exactitud nuestra posición, nos permite memorizar puntos de referencia (waypoints) y rutas (Hilari, 2010).

Clasificación de las coberturas - tratamiento de clasificación digital

El tratamiento se realizó a través de una clasificación supervisada, el cual es un procedimiento que brinda resultados de alta confiabilidad y reales, se trata de

uno de los algoritmos usualmente empleados en percepción remota y considerado uno de los procedimientos de discriminación más eficaces (Camacho-Sanabria et al., 2015 citado por Vistin, 2018).

La clasificación supervisada se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento. Donde se establecieron en la imagen campos de entrenamiento representativos de cada categoría de cobertura vegetal, mediante los cuales fueron diferenciados; estas deben ser áreas lo más homogéneas posibles y en las que sepamos lo que había el día que se tomó la imagen, para esto se utilizó los datos de validación de campo y también las imágenes resultantes de la clasificación no supervisada. Este ajuste se lo realizó con el programa ArcGis v.10, llegando a resultados similares y posterior elaboración de mapas finales, tras la ejecución de las herramientas Spatial Analyst Tools>Multivariate>Create Signatures, generando y validando un fichero en formato gsg, que se usó para la clasificación final a través de la opción input signature file y realizada mediante la herramienta Spatial Analyst Tools>Multivariate>Maximum Likelihood Classification (Figueredo et al., 2020).

Con la obtención de mapas del análisis multitemporal concluida, se realizó un análisis visual de la información, para la detección de los cambios existentes entre gestiones, del cual se extrajo las superficies que cubrían uno y otro tipo de cobertura de uso de suelo y vegetal. La metodología se extracta en la Figura 1, el cual constó de tres etapas:

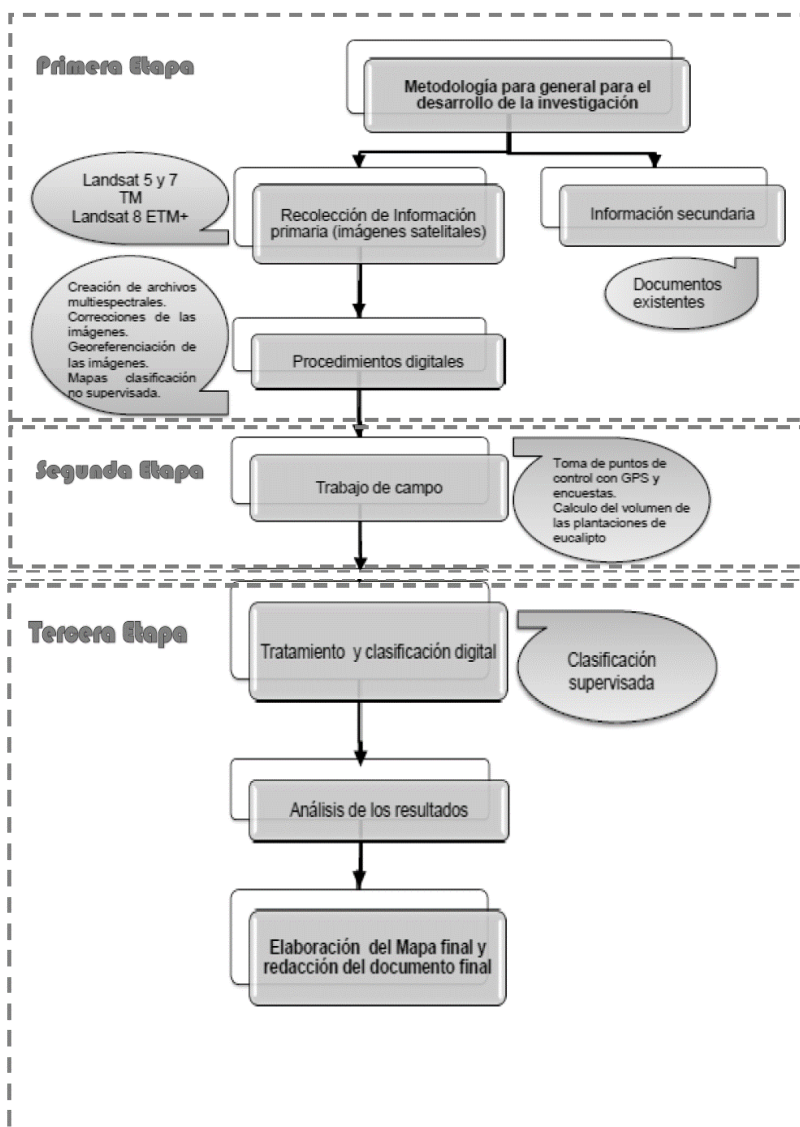


Figura 1. Metodología general para el desarrollo de la investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generalmente, la clasificación se realiza con un conjunto de clases predefinidamente. Tal conjunto es llamado esquema de clasificación. El propósito de este esquema es proporcionar una estructura para organizar y categorizar la información que puede extraerse de los datos (Jense, 1983 citado por Rial y González, 2001). La clasificación utilizada en la dinámica del cambio de cobertura, tras el análisis realizado se presenta en la Tabla 1, indicando la dinámica de los cambios entre periodos.

Tabla 1. Dinámica de los cambios de coberturas en los periodos 1996-2005-2014.

Clasificación de coberturas	Diferencia 1996-2006 (%)	Diferencia 2005-2015 (%)	Diferencia 1996-2015 (%)
Bosques implantados (eucalipto)	2.73	2.52	5.25
Arbustos y/o pastizales	-2.67	-7.07	-9.75
Suelos con poca cobertura vegetal	-2.04	4.16	2.12
Áreas cultivadas	0.84	0.44	0.40
Suelos desnudos	1.06	0.40	1.46
Cuerpos de agua	0.00	-0.02	0.02
Bancos de arena	0.09	0.41	0.49

Las tasas de dinámica de cambio son estimaciones que permiten comparar de manera periódica (anual), cómo se modifican las coberturas o superficies y en qué dirección lo hacen (ganancia o pérdida) (Velásquez et al, 2010). Donde al periodo total del estudio 18 años (1996 a 2014). El porcentaje de áreas de las coberturas identificadas en el análisis multitemporal en la Tabla 1, tiene un incremento 5.25 % en las áreas de bosque Implantado con eucalipto, en cuanto a las áreas de arbustos y/o pastizales mencionamos que existió un decremento de 9.75 %, los suelos con poca cobertura vegetal incrementaron en 2.12 %, mencionamos también a las áreas que se encuentran en cultivo incrementaron 0.40 % y finalmente tenemos a áreas de cuerpo de agua y bancos de arena que realizando una sumatoria al porcentaje de incremento que es de 0.51 % en el municipio de Inquisivi.

En la Figura 2, se observa el comportamiento del cambio de las coberturas en el lapso de tiempo, observando el incremento de las plantaciones de eucalipto en la zona en 18.5 a 23.8 %, un fenómeno muy claramente establecido sobre la pérdida de cobertura vegetal nativa de tipo arbustiva y pastizal de un 46.7 a 37.0 %, esta por diferentes factores observables como el incremento por suelos con poca cobertura vegetal (22.8 a 24.9 %) debido a actividades agrícolas y de pastoreo que aceleran esta condición y procesos de erosión en diferentes grados, se observa un incremento de 1.3 a 2.7 % expresados en suelos desnudos, por último se observa un porcentaje de incremento de cobertura muy bajo en la categoría de áreas cultivadas (9.8 a 10.2 %), el cual indica que mantienen sus áreas agrícolas tradicionales producción e incrementa los bancos de arena (0.7 a 1.2 %) y una cobertura de cuerpos de agua constante en un 0.2 %.

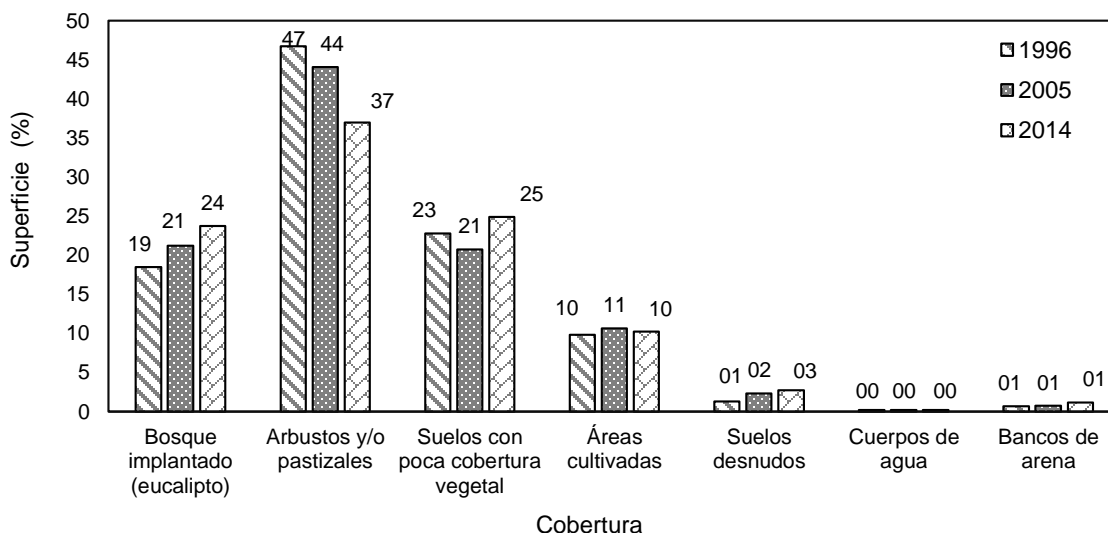


Figura 2. Comportamiento de coberturas en los años 1996, 2005 y 2014.

Superficie de las categorías de cobertura

Al comparar los periodos se aprecia el incremento y disminución de las áreas ocupadas, Delgado (2012) en el estudio "Monitoreo de cobertura arbórea a través del análisis multitemporal con imágenes de satélite en la región del bosque de uso múltiple del departamento de Cochabamba" menciona que la cobertura vegetal no es constante en el tiempo, ya que depende de la época cuando se realice el estudio; la interpretación de ésta depende de si el análisis es efectuado en temporada seca o lluviosa, en la fase del ciclo productivo que se encuentre, la presencia de fenómenos climáticos y el grado de intervención humana a la fecha del estudio. Sin embargo, este dato puede darse más en regiones de altiplano y valles donde la vegetación es afectada

por el clima, pero en el mencionado trabajo se indica que la intervención humana influye en los cambios de la cobertura vegetal en diferentes sectores donde pueda habitar el hombre. A continuación, se detalla la descripción de las diferentes categorías de coberturas y cambios de suelo:

Bosque implantado con eucalipto

Es producto de la siembra o plantación de especies maderables nativas y/o exóticas adaptadas ecológicamente al sitio, con fines principalmente comerciales o industriales, en tierras que, por sus condiciones naturales, ubicación y aptitud sean susceptibles de forestación o reforestación (Plan de Acción Forestal para Bolivia, 2011). Las plantaciones

de eucalipto incrementaron en 1 256.67 ha, donde su evolución entre los años 1996 a 2005 es de 652.86 ha y 603.81 ha en los años 2005 a 2014 (Figuras 3 y 4). El incremento de las plantaciones de eucalipto se debe a que los comunarios indican que estas plantaciones no requieren manejo agrícola y/o forestal, ya que es una especie de fácil propagación, donde el bosque implantado tendrá una regeneración por brotación, controlando solo el número de brotes después de cada aprovechamiento, crece en pendientes mayores, no aptas para el uso agrícola, pero así también son especies de alto requerimiento hídrico y especies alelopáticas.

Áreas de cultivos agrícolas

Son áreas cuya vegetación natural ha sido removida, remplazada o modificada por otros tipos de vegetación, requiere de diversas acciones humanas para mantenerse en el tiempo, sea con previa preparación del medio o después de iniciado el cultivo. Estas superficies tienen cobertura temporal, toda la vegetación plantada o cultivada con el propósito de obtener cosecha está incluida en esta categoría (campos de cultivo, huertos, plantaciones o cultivos con fines alimenticios) (Delgado, 2012).

Esta categoría no presenta un incremento de área significativo, entre el periodo 1996 a 2014, esta se debe a que existe un consumo local de sus productos y una tendencia de producción para su comercialización para mercados con una demanda ya determinada de las ciudades de La Paz, Cochabamba y Oruro. Se percibe una tendencia de disminución de áreas de cultivo poco significativa, debido a factores como incremento en la implementación de plantaciones de eucalipto por su mayor rentabilidad, poco manejo para su producción, procesos de migración a ciudades capitales.

Tarqui (2013), clasificó las áreas de cultivo en agricultura anual extensiva que se realiza en alturas menores a 3000 m s.n.m. donde se realizan en laderas inferiores, intermedias y terrazas aluviales. Estos tipos de utilización se caracterizan por no emplear capital e insumos significativos en la planificación de la explotación del suelo, debido a las cualidades de las zonas, presentando una fuerza predial para la ejecución de diferentes prácticas agrícolas de tipo animal y manual, evitándose la fuerza motorizada por su topografía, usan capital e insumos en pequeña proporción debido a que su economía es baja.

Arbustos y pastizales

Las áreas con arbusto y/o pastizales disminuyó 639.43 hectáreas entre 1996 al 2005, como se muestra en la Figura 3, experimentando un decremento mayor de 1 691.89 ha en el periodo de 2005 a 2014 (Figura 4). Las áreas de arbustos y pastizales disminuyeron en total 2 331.32 ha en el lapso de 18 años. Analizando los resultados obtenidos de la Figura 5, concluimos que las plantaciones de eucalipto al ser especies con fácil propagación y adaptación a la zona reemplazaron áreas arbustivas y pastizales, por ser una especie alelopática, otro factor es la habilitación de superficies para los cultivos anuales. Tarqui (2013) indica que las tierras de uso pecuario con ganadería extensiva con bovinos, equinos y ovinos en campos naturales corresponde a las serranías (cima, ladera superior e intermedia), generalmente no se invierte capital en la explotación o mejoramiento del suelo. Se practica el pastoreo disperso en campos naturales y en campos agrícolas en descanso. El uso de insumos es bajo, solo se da como suplemento a los animales sal cada tres meses.

Suelos desnudos

Son aquellos suelos que poseen cobertura vegetal menor al 5 %, manifestando afloramientos rocosos, esta cobertura incrementaron en 349.45 ha en el periodo de 1996 a 2014 (Figura 5). Los factores que influyeron son la erosión eólica, hídrica y por gravedad. En los meses lluviosos se produce la erosión hídrica por el arrastre de partículas de suelo causando erosión laminar que con el tiempo se convierte en surcos con pérdida de nutrientes, materia orgánica y otros componentes desde su lugar de origen hacia otros sitios. La erosión eólica se produce en los meses secos (marzo a septiembre) con el arrastre de las partículas sueltas de suelo por la fuerza de los vientos, generalmente este tipo de erosión.

Suelos con poca cobertura vegetal

Los suelos con poca cobertura vegetal tienen un incremento, con aumento de 506.88 ha en 18 años, comprendidos desde 1996 al 2014 (Figura 5). Existen sectores que fueron habilitados para la siembra y que por alguna razón dejaron de cultivarlos, comenzando a emerger hierbas de diferentes especies cubriendo el suelo, pero a una altura promedio de un metro.

Superficie de cuerpos de agua

Los resultados obtenidos, indica que hubo ligeras variaciones de decremento en 0.52 ha en el periodo de 1996 a 2005 (Figura 3), mientras que del 2005 al 2014 existió su incremento en 4.43 ha (Figura 4), con aumento en 3.91 ha entre 1996 y 2014 (Figura 5). Los factores presumibles en este cambio es el deshielo de los nevados causados por el incremento de la temperatura incrementando las áreas de cuerpos de agua, así también por efectos del cambio climático.

Bancos de arena

El área con bancos de arena incrementó en el periodo de 18 años en una superficie de 118.38 ha (Figura 5). El incremento es debido a procesos de socavamiento y remisión en masa del cauce de río, está por el incremento de caudal, de esta manera las partículas del suelo son arrastradas y en época seca queda como bancos de arena.

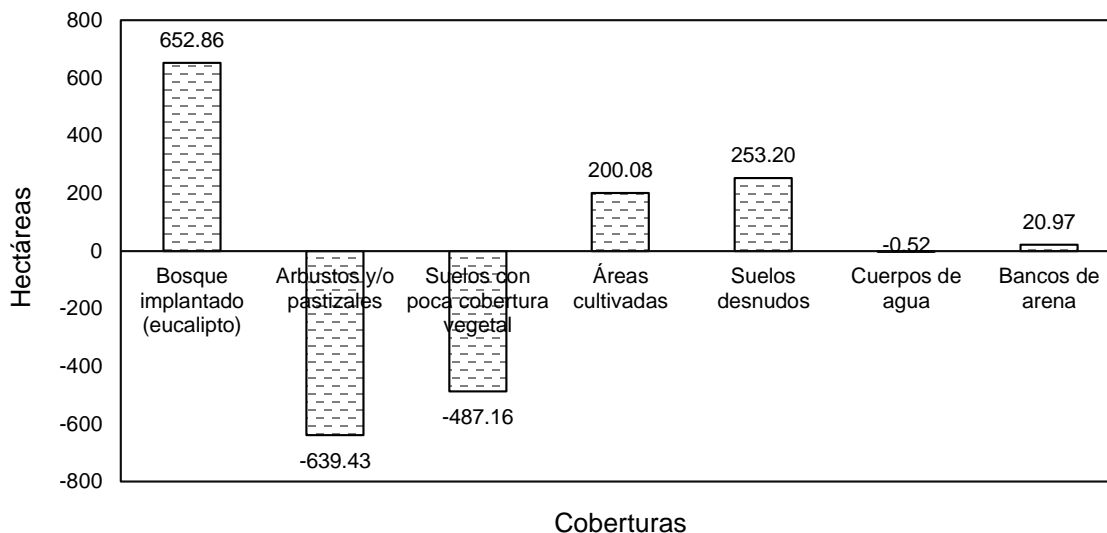


Figura 3. Tasa de cambio de coberturas (ha), en periodos 1996-2005.

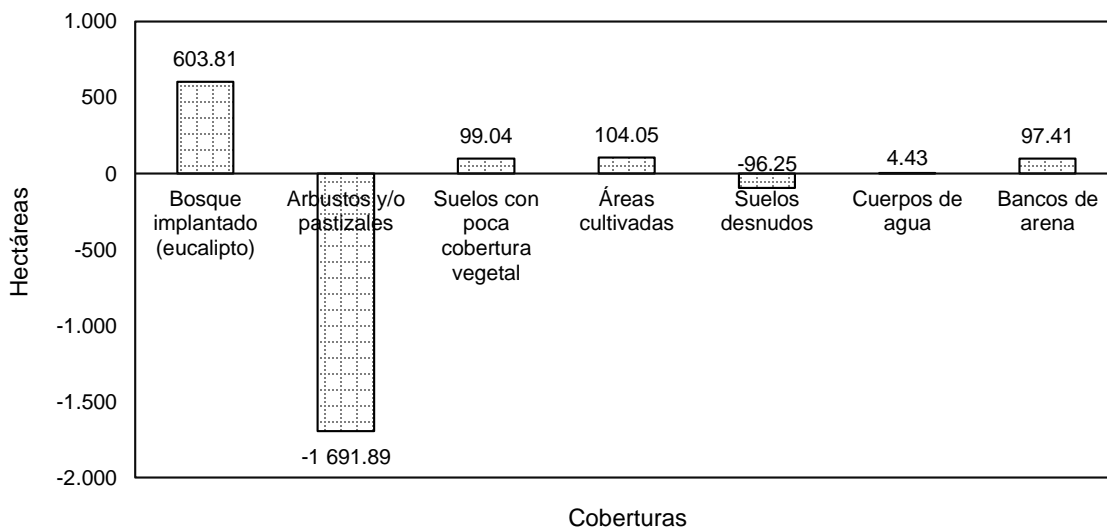
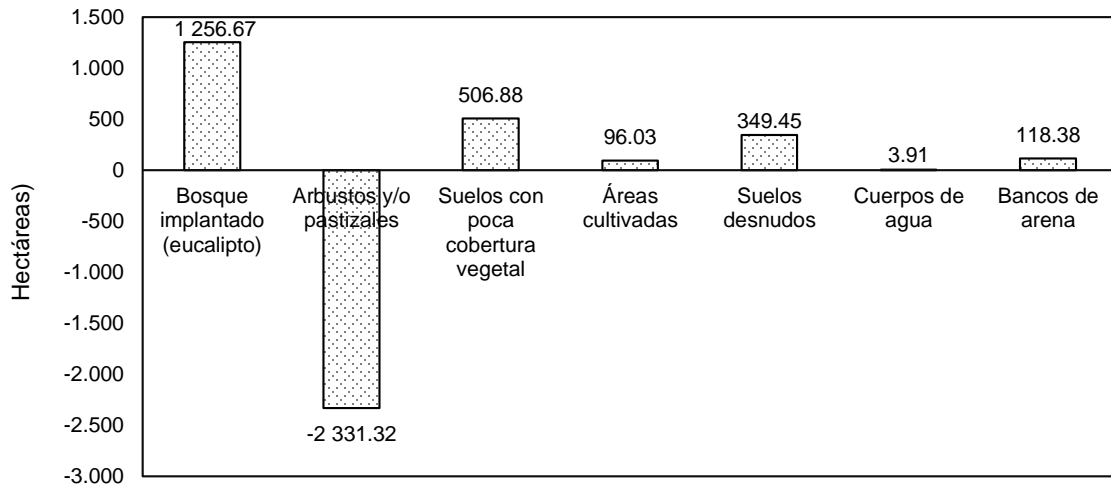


Figura 4. Tasa de cambio de coberturas (ha), en periodos 2005-2014.



Coberturas

Figura 5. Tasa de cambio de coberturas (ha), en periodos 1996-2014.

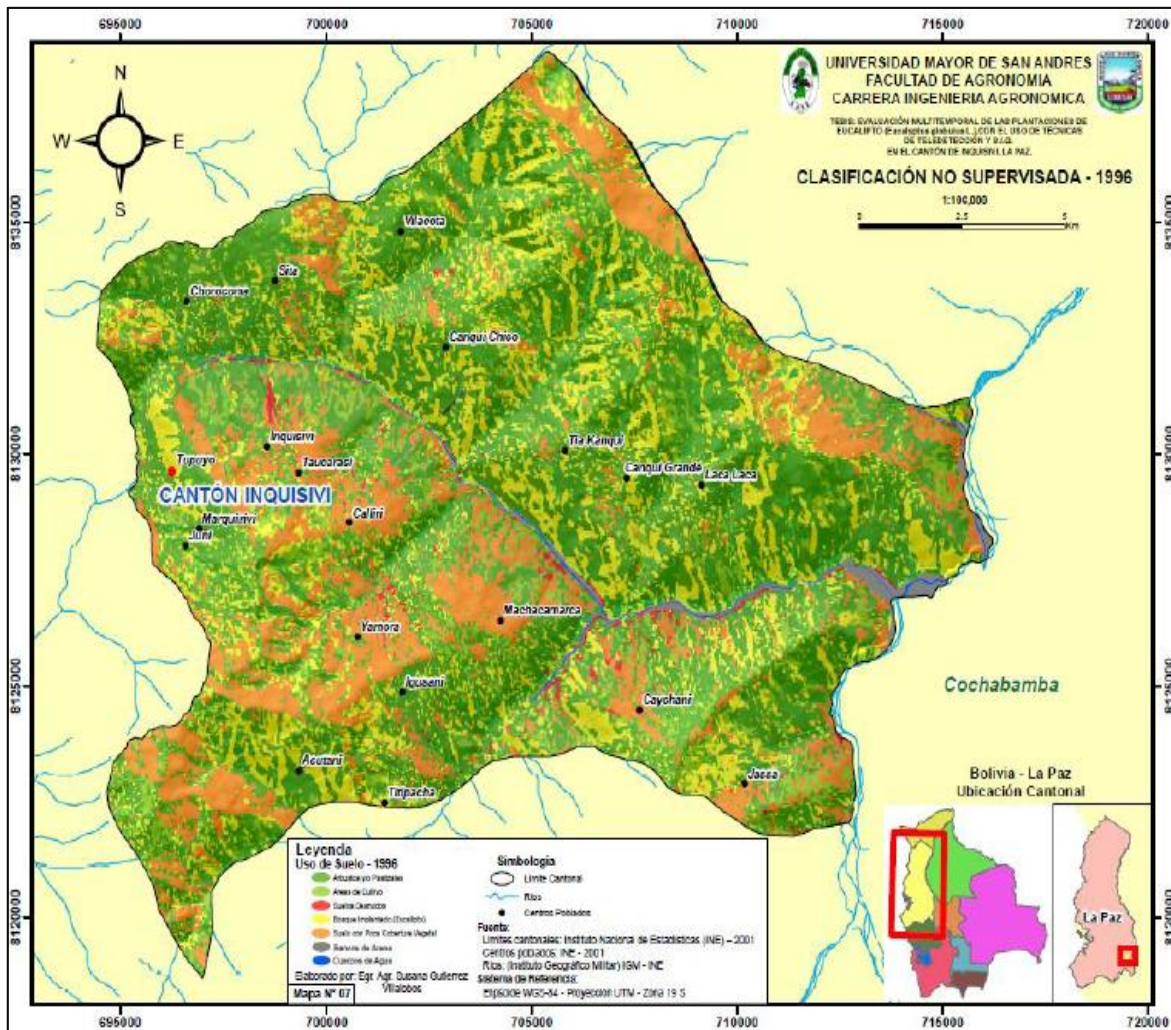


Figura 6. Mapa de clasificación no supervisada - 1996.

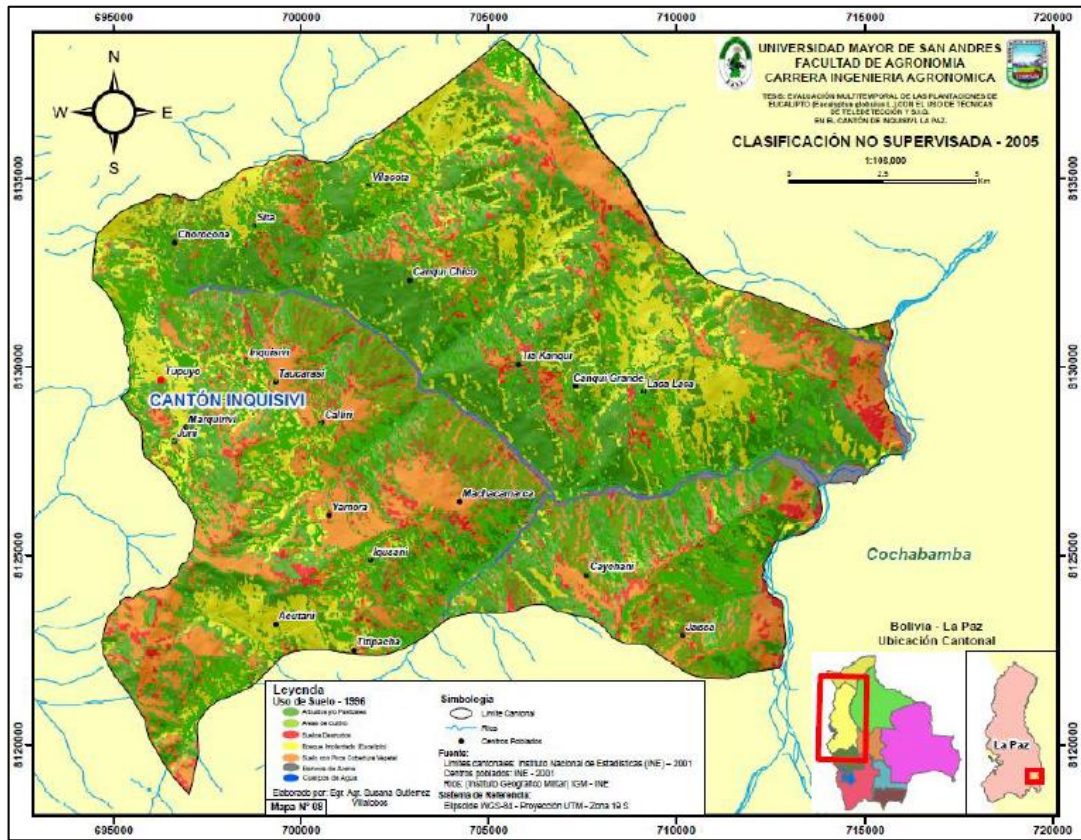


Figura 7. Mapa de clasificación no supervisada - 2005.

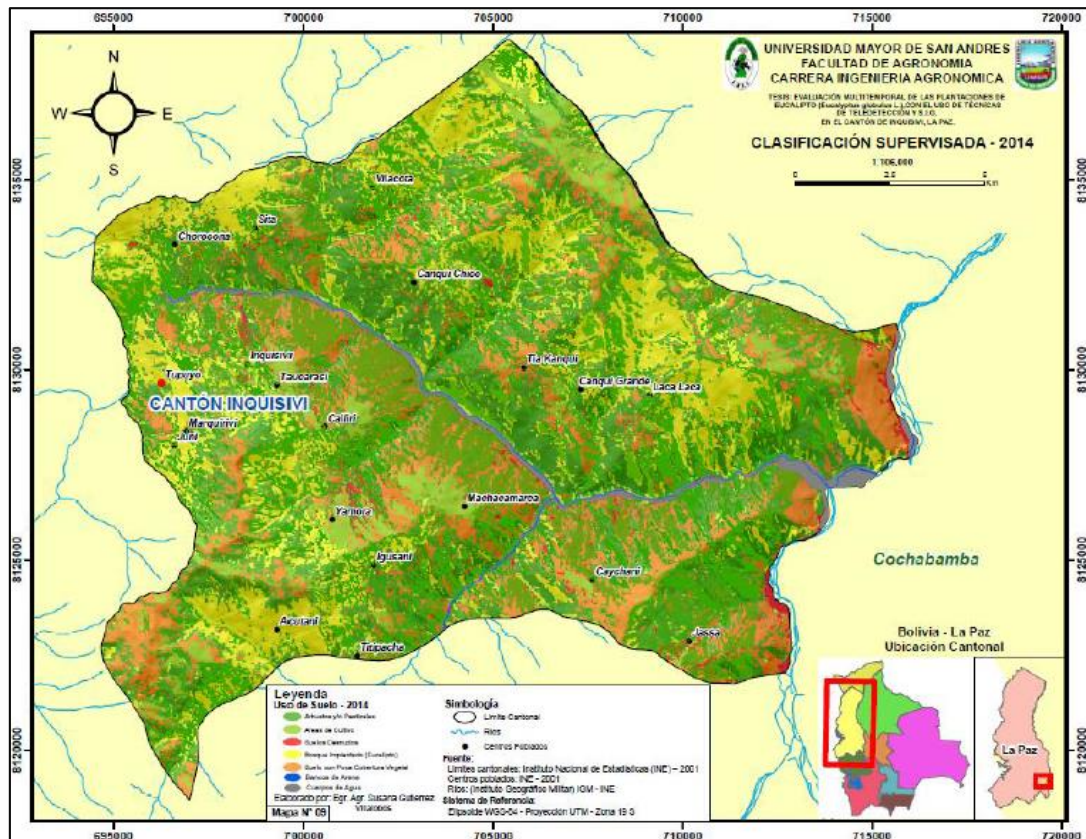


Figura 8. Mapa de clasificación supervisada - 2014.

CONCLUSIONES

En el municipio de Inquisivi, las actividades forestales (plantaciones de eucalipto), presentan un rol preponderante como actividad productiva y económica, observando un crecimiento significativo y considerable en las áreas de producción en los periodos evaluados de 1996-2014. Este suceso es comprensible en el aspecto socioeconómico, debido a que representa una fuente de ingreso a corto plazo, la misma que requiere una menor cantidad de mano de obra para su manejo y producción. No obstante, la intensidad de esta actividad se manifiesta con la pérdida de cobertura natural de especies nativas (arbustos y pastizales), lo cual tiene efecto en la fertilidad y erosión del suelo. Por otro lado, se observa un cambio de coberturas con un aumento no significativo, pero de importancia en el caso de los suelos desnudos, afectadas por actividades agrícolas y pecuarias en la región y el aumento de áreas de bancos de arena originadas en los lechos de ríos.

De manera general, en el periodo de 18 años (1996-2014) se produjo un cambio en la superficie de las categorías evaluadas, que mencionamos de la siguiente manera: existió incremento de superficie en las categorías de bosques implantados (eucalipto), Suelos con poca cobertura vegetal, Suelos desnudos, Bancos de arena, áreas cultivadas y cuerpos de agua con superficies de 1 256.67 (5.25 %), 994.04 (2.12 %), 349.45 (1.46 %), 118.38 (0.49 %), 96.03 (0.40 %) y 3.91 (0.02 %) ha, respectivamente y existiendo un decremento en la categoría de arbustos y/o pastizales en 2 331.32 ha (9.75 %).

Por lo tanto, el uso de herramientas, como los sistemas de información geográfica (SIG), teledetección y percepción remota, permiten realizar estudios que permite modelizar variables (topografía, pendiente, hidrología, vías, centros poblados, etc.), pudiendo estimar de las dimensiones cambios asociados a la evolución en la cobertura vegetal y uso del suelo; así también el de cuantificar el desarrollo de las actividades antropogénicas en el área de estudio. Estas herramientas adquieren una importancia para la planificación y ordenamiento territorial, para la generación de políticas municipales de uso y explotación de recurso suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, E; Galindo, G; Vargas, DM. 2011. Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia, nivel nacional escala gruesa y fina. Bogotá, Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM, 44 p.
- Castilla, G. 2003. Análisis orientado a objetos de imágenes de teledetección para cartografía forestal: bases conceptuales y un método de segmentación para obtener una partición inicial para la clasificación (en línea). Consultado 15 sept. 2021. Disponible en <http://oa.upm.es/133/>
- Chuvienco, E. 2006. Fundamentos de Teledetección Espacial. Madrid, España. pp. 305-308.
- Delgado, JL. 2012. Monitoreo de cobertura arbórea a través del análisis multitemporal con imágenes de satélite en la región del bosque de uso múltiple del Departamento de Cochabamba. Tesis Maestría, La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.
- Fernández-Coppel, I; Herrero, E. 2001. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+. Satélite Landsat (en línea). Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Palencia, Universidad de Valladolid. Consultado 16 mar. 2021. Disponible en https://www.academia.edu/6708074/An%C3%A1lisis_Visual_de_Im%C3%A1genes_Obtendidas_del_Sensor_ETM_Sat%C3%A9lite_Landsat
- Figueroa, JL; Ramón, AM; Barrero, H. 2020. Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de manejo " Los Números" Guisa, Granma (en línea). Revista Cubana de Ciencias Forestales 8(1):1-15. Consultado 11 dic. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/342923927_Analisis_multitemporal_del_cambio_de_cobertura_vegetal_en_el_area_de_manejo_Los_Numeros_Guisa_Granma
- Tejedor, N; Álvarez, E; Arango, S; Araujo, A; Blundo, C; Boza, TE; La Torre, MA; Gaviña, J; Gutiérrez, N; Jørgensen, PM; León, B; López R; Malizia, L; Millán, B; Moraes, M; Pacheco, S; Rey, JM; Reynel, C; Timaná, M; Ulloa, C; Vacas, O; Newton, AC. 2012. Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los

- Andes tropicales (en línea). Revista Ecosistemas 21(1-2):148-166. Consultado 16 sept. 2021. Disponible en <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/34>
- Gutierrez, S. 2016. Evaluación multitemporal de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) con el uso de técnicas de teledetección y SIG en el Cantón de Inquisivi, La Paz (en línea). Tesis Licenciatura, La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. Consultado 16 sept. 2020. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6762/T-2226.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hilari, V. 2010. Identificación y análisis multitemporal de cuatro bofedales en el altiplano norte del departamento de La Paz (Ulla Ulla, Ancoraimas, Peñas y Tuni Condoriri). Tesis Lic. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.
- Montes de Oca, I. 1997. Geografía y recursos naturales de Bolivia. Tercera edición. EDOBOL (editor).
- Ovalles, FA; Rodríguez, MF; Espinoza, Y; Cortéz, A; Pérez, MJ; Cabrera, E; Obispo, NE. 2007. Uso de imágenes satelitales de alta resolución para evaluar parcelas experimentales en ensayos silvopastoriles. Zootecnia tropical 25(4):269-277.
- Plan de Acción Forestal para Bolivia. 2011. Curso/taller, formulación y evaluación de proyectos forestales. Memoria Descriptiva. MACA. CDF. Proyecto FAO TCP/BOL/0051 A.
- Programa Regional de Bosques Nativos Andinos de Bolivia y Ecuador. 2009. Estudios de los Bosques Nativos Andinos en la Comunidad de Camillaya. La Paz, Bolivia.
- Rial, P; González, L. 2001. ERDAS IMAGINE® 8.4 Tour Guide. En Capítulo 4, Clasificación. United States of America.
- Romero, FS. 2016. La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. Revista AquaTIC. 24 p.
- Rosero, MM. 2018. Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del Río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura.
- SENAMHI. 2015. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia (en línea). Consultado 16 oct. 2020. Disponible en <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/>
- Tarqui, M. 2013. Determinación de la aptitud del suelo en el municipio de Inquisivi (cantones; Inquisivi y capiñata) (Doctoral dissertation).
- Velásquez, A; Durán, E; Larrasábal, A; López, F; Medina, C. 2010. La cobertura vegetal y los cambios en uso de suelo. Publicación México.
- Vistin, DA. 2018. Propuesta de rehabilitación del bosque siempre verde montano en la comunidad de "Guangras" dentro del Parque Nacional Sangay, Ecuador. Tesis Doctor, Cuba. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca".

Artículo recibido en: 30 de agosto 2020

Aceptado en: 15 de septiembre 2021