

## **Resumen**

**Identificación de Rodales de *Pinus* Mayores a 20 Años con SIG.** La cuantificación de superficie de plantaciones forestales de *Pinus* mayores a 20 años, permitió ver la dinámica de coberturas en los municipios de Alalay, Vacas y Pocona y estudiar las coberturas de plantaciones forestales a partir de un análisis multitemporal para el periodo comprendido entre el año 2000 a 2021 donde se conoce la evolución de la tasa de cambio en el paisaje de cobertura vegetal de estos municipios.

Los análisis se muestran según el modelo del NDVI con valores de reflectancia mayores a 0.3 y los rodales que otorgó la ABT. Los valores de las coberturas de plantaciones de *Pinus* mayores a 20 años se representan con 558 rodales a una superficie de 278,02 ha para el municipio de Alalay, Vacas con 350.31 ha equivalente a 909 rodales y Pocona muestra un número de rodales existente de 475 equivalente a 311.43 ha.

Las tasas de cambio indican que se incrementó la cobertura boscosa en 42% y 30% para los municipios de Vacas y Pocona, pero se mantiene con 26% en el municipio de Alalay. Bajo estas dinámicas, las coberturas vegetales mantienen un equilibrio en su cobertura boscosa.

Posteriormente se logró convertir estos resultados a una base de datos digitales en formato Shapefiles y geodatabase de los hallazgos de rodales de *Pinus* en los municipios Alalay, Vacas y Pocona donde contiene información de georreferenciación de los rodales existentes con coordenadas “X” y “Y” como también cada superficie de rodal identificado.

**Palabras Claves:** Plantaciones forestales, análisis multitemporal, *Pinus radiata*, SÍG, NDVI.

**Abstract**

**Identification of Pinus Stands Older than 20 Years with GIS.** The quantification of the area of forest plantations of Pinus older than 20 years, allowed to see the dynamics of coverage in the municipalities of Alalay, Vacas and Pocona and to study the coverage of forest plantations from a multi-temporal analysis for the period between the year 2000 to 2021 where the evolution of the rate of change in the vegetation cover landscape of these municipalities is known.

The analyzes are shown according to the NDVI model with reflectance values greater than 0.3 and the stands provided by the ABT. The values of the coverage of Pinus plantations older than 20 years are represented by 558 stands with an area of 278.02 ha for the municipality of Alalay, Vacas with 350.31 ha equivalent to 909 stands and Pocona shows a number of existing stands of 475 equivalent to 311.43 ha.

The rates of change indicate that forest cover increased by 42% and 30% for the municipalities of Vacas and Pocona, but remains at 26% in the municipality of Alalay.

Under these dynamics, the vegetation covers maintain a balance in their forest cover.

Subsequently, it was possible to convert these results to a digital database in Shapefiles format and a geodatabase of the findings of Pinus stands in the Alalay, Vacas and Pocona municipalities, where it contains georeferencing information of the existing stands with "X" and "Y" coordinates. as well as each identified stand area.

**Key words:** Forest plantations, multi-temporal analysis, *Pinus radiata*, NEXT, NDVI.

# Índice de Contenido

|                |                                                                       |           |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I.</b>      | <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                              | <b>1</b>  |
| <b>1.1.</b>    | <b>Objetivos.....</b>                                                 | <b>2</b>  |
| <i>1.1.1.</i>  | <i>Objetivo General.....</i>                                          | <i>2</i>  |
| <i>1.1.2.</i>  | <i>Objetivos Específicos.....</i>                                     | <i>2</i>  |
| <b>II.</b>     | <b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>                                    | <b>3</b>  |
| <b>2.1.</b>    | <b>Sistema de Información Geográfica (SIG).....</b>                   | <b>3</b>  |
| <b>2.2.</b>    | <b>Las Componentes de la Información Geográfica .....</b>             | <b>3</b>  |
| <b>2.3.</b>    | <b>La Teledetección .....</b>                                         | <b>3</b>  |
| <b>2.4.</b>    | <b>Imágenes Satelitales.....</b>                                      | <b>4</b>  |
| <b>2.5.</b>    | <b>Imágenes Landsat.....</b>                                          | <b>5</b>  |
| <b>2.6.</b>    | <b>Análisis Multitemporal .....</b>                                   | <b>5</b>  |
| <b>2.7.</b>    | <b>Resolución Temporal.....</b>                                       | <b>6</b>  |
| <b>2.8.</b>    | <b>Análisis Visual de Imágenes .....</b>                              | <b>6</b>  |
| <b>2.9.</b>    | <b>Composición de Bandas .....</b>                                    | <b>7</b>  |
| <b>2.10.</b>   | <b>Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales.....</b>             | <b>8</b>  |
| <i>2.10.1.</i> | <i>Correcciones Geométricas .....</i>                                 | <i>8</i>  |
| <i>2.10.2.</i> | <i>Corrección Geométrica del Efecto de Rotación de la Tierra.....</i> | <i>8</i>  |
| <b>2.11.</b>   | <b>Clasificación de Imágenes.....</b>                                 | <b>8</b>  |
| <i>2.11.1.</i> | <i>Clasificación Supervisada.....</i>                                 | <i>8</i>  |
| <i>2.11.2.</i> | <i>Clasificación no Supervisada.....</i>                              | <i>9</i>  |
| <i>2.11.3.</i> | <i>Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....</i>     | <i>9</i>  |
| <i>2.11.4.</i> | <i>Formato de los Datos Geográficos .....</i>                         | <i>9</i>  |
| <b>2.12.</b>   | <b>Tasa Anual de Cambio de Cobertura .....</b>                        | <b>11</b> |

|        |                                                                      |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.13.  | Estudios de Identificación de Plantaciones Forestales a Base de..... |    |
|        | Teledetección.....                                                   | 12 |
| III.   | MATERIALES Y MÉTODOS .....                                           | 14 |
| 3.1.   | Ubicación del Área de Estudio .....                                  | 14 |
| 3.1.1. | Municipio de Vacas.....                                              | 14 |
| 3.1.2. | Municipio de Pocona.....                                             | 14 |
| 3.1.3. | Municipio de Alalay.....                                             | 14 |
| 3.1.4. | Mapa del Área de estudio .....                                       | 15 |
| 3.2.   | Materiales y Equipos .....                                           | 16 |
| 3.3.   | Metodología.....                                                     | 16 |
| 3.3.1. | Alcance de la Investigación .....                                    | 17 |
| 3.3.2. | Diseño Metodológico .....                                            | 17 |
| 3.3.3. | Sistematización y Procesamiento de Datos.....                        | 23 |
| IV.    | RESULTADOS .....                                                     | 46 |
| 4.1.   | Identificación de Rodales de <i>Pinus</i> Mayores a 20 Años .....    | 46 |
| 4.2.   | Dinámica de la Tasa de Cambio de Cobertura Vegetal en los tres.....  |    |
|        | Municipios Alalay, Vacas y Pocona de los Años 2000 a 2021. ....      | 50 |
| V.     | CONCLUSIONES .....                                                   | 57 |
| VI.    | RECOMENDACIONES .....                                                | 58 |
| VII.   | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                     | 59 |
| VIII.  | ANEXOS.....                                                          | 62 |

## Índice de Cuadros

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Características de las imágenes Landsat 8. ....                            | 5  |
| <b>Cuadro 2.</b> Materiales de trabajo. ....                                                | 16 |
| <b>Cuadro 3.</b> Rodales de <i>Pinus</i> mayores a 20 años por municipios. ....             | 46 |
| <b>Cuadro 4.</b> Resultado del análisis multitemporal. ....                                 | 54 |
| <b>Cuadro 5.</b> Tasa de cambio y porcentaje de cobertura vegetal del año 2000 a 2021. .... | 55 |

# iii Índice de figuras

|                   |                                                                                                        |    |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b>  | Resolución temporal.....                                                                               | 6  |
| <b>Figura 2.</b>  | Muestra de un shapefile en el Arccatalog del Arcgis.....                                               | 10 |
| <b>Figura 3.</b>  | Repositorio de una geodatabase. ....                                                                   | 11 |
| <b>Figura 4.</b>  | Mapa de ubicación de los municipios Alalay, Vacas y Pocona. ....                                       | 15 |
| <b>Figura 5.</b>  | Flujograma de las fases de trabajo. ....                                                               | 17 |
| <b>Figura 6.</b>  | Descarga de bandas espectrales Landsat-5.....                                                          | 19 |
| <b>Figura 7.</b>  | Descarga de bandas espectrales Landsat-8.....                                                          | 20 |
| <b>Figura 8.</b>  | Geodatabase del registro de plantaciones forestales. ....                                              | 21 |
| <b>Figura 9.</b>  | Polígonos otorgados del registro de plantaciones forestales. ....                                      | 22 |
| <b>Figura 10.</b> | Ejemplar de 6 polígonos del registro de plantaciones forestales,.....<br>municipio Alalay. ....        | 22 |
| <b>Figura 11.</b> | Polígonos sobrepuestos del registro de plantaciones forestales con los.....<br>polígonos del NDVI..... | 23 |
| <b>Figura 12.</b> | Variación de la imagen satelital Landsat-5. ....                                                       | 25 |
| <b>Figura 13.</b> | Arreglo espacial de la imagen satelital Landsat-5.....                                                 | 25 |
| <b>Figura 14.</b> | Recorte de la imagen satelital landsat-5.....                                                          | 26 |
| <b>Figura 15.</b> | Proceso del NDVI para identificar plantaciones forestales.....                                         | 27 |
| <b>Figura 16.</b> | NDVI con su tratamiento clasificado en cuatro clases, municipio.....<br>Alalay.....                    | 28 |
| <b>Figura 17.</b> | NDVI con su tratamiento clasificado en cuatro clases, municipio de.....<br>Vacas. ....                 | 29 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 18.</b> NDVI con su tratamiento clasificado en cuatro clases, municipio de.....     |    |
| Pocona. ....                                                                                  | 30 |
| <b>Figura 19.</b> (A) Prueba de reflectancia de los rodales del registro de plantaciones..... |    |
| forestales.....                                                                               | 31 |
| <b>Figura 20.</b> (B) Prueba de reflectancia de los rodales del registro de plantaciones..... |    |
| forestales.....                                                                               | 32 |
| <b>Figura 21.</b> (C) Prueba de reflectancia de los rodales del registro de plantaciones..... |    |
| forestales.....                                                                               | 33 |
| <b>Figura 22.</b> Polígono del NDVI mayores a 0.3 de reflectancia, municipio de.....          |    |
| Alalay.....                                                                                   | 34 |
| <b>Figura 23.</b> Polígono del NDVI mayores a 0.3 de reflectancia, municipio de.....          |    |
| Vacas. ....                                                                                   | 34 |
| <b>Figura 24.</b> Polígono del NDVI mayores a 0.3 de reflectancia, municipio de.....          |    |
| Pocona. ....                                                                                  | 35 |
| <b>Figura 25.</b> Descarga de la imagen satelital en SAS Planet. ....                         | 36 |
| <b>Figura 26.</b> sobreposición de la imagen satelital y visualización de los polígonos.....  |    |
| mayores a 0.3 de reflectancia del NDVI.....                                                   | 36 |
| <b>Figura 27.</b> Sobreposición de polígonos del registro de plantaciones forestales con..... |    |
| polígonos mayores a 0.3 de reflectancia del NDVI.....                                         | 37 |
| <b>Figura 28.</b> Polígonos sin cobertura formados por el NDVI mayores a 0.3 de.....          |    |
| reflectancia.....                                                                             | 38 |
| <b>Figura 29.</b> Ejemplar de poligonización manual de los polígonos formados por la.....     |    |
| reflectancia de NDVI mayores a 0.3. ....                                                      | 39 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 30. Ejemplar de los polígonos no existentes. ....                             | 40 |
| Figura 31. Ejemplar de la clasificación no supervisada.....                          | 41 |
| Figura 32. Metodología de análisis multitemporal. ....                               | 42 |
| Figura 33. Ejemplar del análisis multitemporal año 2000 a 2021, municipio.....       |    |
| Alalay.....                                                                          | 43 |
| Figura 34. Exportación de base de datos, cobertura vegetal.....                      | 45 |
| Figura 35. Exportación de base de datos, rodales mayores a 20 años del género.....   |    |
| <i>Pinus</i> . ....                                                                  | 45 |
| Figura 36. Mapa temático de rodales mayores a 20 años del género <i>Pinus</i> ,..... |    |
| municipio Alalay. ....                                                               | 47 |
| Figura 37. Mapa temático de rodales mayores a 20 años del género <i>Pinus</i> ,..... |    |
| municipio Vacas. ....                                                                | 48 |
| Figura 38. Mapa temático de rodales mayores a 20 años del género <i>Pinus</i> ,..... |    |
| municipio Pocona. ....                                                               | 49 |
| Figura 39. Dinámica de cambio de cobertura vegetal, municipio Alalay.....            | 51 |
| Figura 40. Dinámica de cambio de cobertura vegetal, municipio de Vacas.....          | 52 |
| Figura 41. Dinámica de cambio de cobertura vegetal, municipio de Pocona.....         | 53 |

## I. INTRODUCCIÓN

Durante la última década las instituciones y organismos que realizan actividades de plantaciones forestales, tanto en la zona urbana como en las áreas circunvecinas de la ciudad, el género *Pinus* es una especie importante, por su rápido crecimiento en plantaciones de diversas partes del mundo y por la disponibilidad a nivel incluso internacional de semilla.

Por lo tanto, la implementación de un Sistema de Información Geográfica permitirá la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos que permitan ver rodales de *Pinus* mayores a 20 años en los tres municipios, donde se podrá tener toda la información georreferenciada para la generación de mapas temáticos de superficie, por lo que la aplicación de nuevas tecnologías aportara a la gestión forestal sostenible y ambiental de los municipios en la toma de decisiones de manera integral.

Siendo el caso de las plantaciones comerciales, Díaz (2014) y Patiño (2015), llegan a la conclusión que, desde el punto de vista financiero, el cultivo de pino radiata representa una alternativa atractiva para la inversión privada (propietario individual o comunal) en el área rural de la zona andina de Cochabamba.

Retomando la estimación del Cidre (2010), en el sentido de la superficie potencial de plantación de *Pinus radiata* en los valles del departamento de Cochabamba es de aproximadamente 300.000 hectáreas y el dato del valor del bosque de pino a los 25 años igual a un promedio de 8.900 USD/ha, se estima que este tipo de bosques representaría para la economía del departamento un valor instalado de 2.670 millones de Bs. o 383.6 millones de USD.

Battilana (2010), elabora con apoyo de la Asociación Arboles y Futuro y la ESFOR-UMSS, un estudio acerca del “Potencial de captura de carbono en las plantaciones de *Pinus radiata* en los valles interandinos de Cochabamba”, considerando que la especie indicada es la especie de mayor preferencia de las comunidades rurales de la zona andina (p.33).

El presente estudio de cuantificación de superficie de plantaciones forestales de *Pinus* mayores a 20 años, permite ver la dinámica de coberturas en los municipios de Alalay, Vacas, y Pocona y analiza las coberturas de plantaciones forestales a partir de un análisis multitemporal para el periodo comprendido entre el año 2000 a 2021 para ver la evolución de la tasa de cambio en el paisaje de cobertura vegetal de estos municipios.