

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE CONSERVACIÓN CERTIFICADAS Y ZONAS DE  
IMPORTANCIA PARA CONSERVAR EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA,  
COLOMBIA.

Leidy Janneth Fernández Montiel



Universidad de Puerto Rico  
Recinto Universitario de Mayagüez  
Departamento de Ciencias Agroambientales

## Tabla de contenido

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Resumen.....</b>                             | <b>3</b>  |
| <b>2. Introducción .....</b>                       | <b>3</b>  |
| <b>2.1. Situación problema .....</b>               | <b>4</b>  |
| <b>2.2. Antecedentes Legales.....</b>              | <b>5</b>  |
| <b>3. Objetivos .....</b>                          | <b>7</b>  |
| <b>4. Revisión de literatura.....</b>              | <b>7</b>  |
| <b>5. Metodología .....</b>                        | <b>8</b>  |
| <b>6. Resultados y discusión .....</b>             | <b>12</b> |
| <b>7. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>      | <b>14</b> |
| <b>8. Literatura citada .....</b>                  | <b>16</b> |
| <b>9. Apéndice 1: Búsqueda de información.....</b> | <b>17</b> |
| <b>10. Apéndice 2: Descarga de Imágenes. ....</b>  | <b>24</b> |
| <b>11. Apéndice 3: ArcMap.....</b>                 | <b>26</b> |

# IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE CONSERVACIÓN CERTIFICADAS Y ZONAS DE IMPORTANCIA PARA CONSERVAR EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA.

## 1. Resumen

Colombia es un país posee una gran biodiversidad cultura, y gran variedad de climas y pisos térmicos en la montaña, lo que le permite variedad de ecosistemas. Es importante resaltar que el páramo es un ecosistema tropical húmedo distribuido en la alta montaña, estas áreas son de gran importancia, debido al hábitat que presta para la conservación de especies de flora y fauna. Así mismo, los servicios ecosistémicos que este cumple favorece a las comunidades teniendo una relación directa o indirectamente. Por ello Colombia cuenta con el 10% y 50% de la biodiversidad y de páramos a nivel mundial respectivamente. Debido a la importancia que poseen estas zonas, se encuentran las Áreas Naturales Protegidas (ANP) que permiten tomar en cuenta áreas bajo protección de políticas establecidas de esta manera se permite seguridad para evitar el uso de terreno con fines comerciales e industriales.

Por lo anterior, el propósito de esta investigación es evaluar las áreas conservadas y complejos de páramos que se encuentran ubicados en el departamento del Tolima (Colombia). Utilizando información de las diferentes bases de datos abiertos de las distintas entidades públicas del país y contrastando los resultados, sobreponiendo la información con la ayuda del software ArcGIS. Los resultados de esta investigación arrojan una falta de información actualizada en diferentes páginas de entidades públicas, así mismo como falta de información de forma “shapefile”. Por lo tanto, esta investigación con la utilización de ArcGIS se puede concluir que no todas las áreas denominadas como complejos de páramos, son estrictamente áreas de conservación y se presume que hay presencia de minería en algunas de las zonas denominadas complejos de páramo. Recomendando realizar una investigación exhaustiva para poder revisar las políticas entre las cuales se entran rigiendo las leyes de conservación y las actividades mineras. Logrando reconocer con certeza la legalidad de dichas actividades mineras y los impactos de daños en un futuro.

## 2. Introducción

Colombia es un país ubicado en América del sur el cual se puede ubicar con una latitud de 12° 27'46" norte y 4° 13' 30" sur, un país que cuenta con 32 Departamentos y una diversidad cultural, iniciando con una lengua primaria como es el idioma español. Sin embargo, cuenta con 65 lenguas de origen indígena, Dos lenguas de origen africano, lengua rom del pueblo gitano, logrando ser un país de gran diversidad cultural. Adicionalmente, el país cuenta con una variedad de clima, ya que el clima dependerá de según los pisos térmicos, para ello podemos clasificar los climas de la siguiente manera: (1) Clima cálido: denominado debido a la altura sobre el nivel del mar menor a 1000 m y las zonas presentan temperaturas mayores de 24 °C. (2) Clima Templado: las zonas se encuentran con la altura sobre el nivel del mar entre los 1000 m y 2000 m, las temperaturas oscilan entre los 17 °C y 24 °C. (3) Clima Frio: la altura sobre el nivel del mar de estas se encuentran entre los 2000 m y 3000 m, y temperaturas entre 17 °C y 11 °C. Por último, sobre esta altitud se

identifican las zonas boscosas, praderas sin árboles de los páramos y las tierras heladas, las cuales se encuentran por encima de los 4000 m de altura sobre el nivel del mar y temperaturas bajo 0°C, para estas zonas encontramos nieve y hielo. Para esta investigación es de interés las áreas delimitadas para los complejos de páramos.

Los páramos son ecosistemas tropicales húmedos que se distribuyen en las denominadas regiones de alta montaña, los cuales se encuentran distribuidos entre cordilleras que abarcan diferentes zonas de Ecuador, Venezuela, Panamá, Costa Rica y Colombia. Están ubicados entre el límite del bosque en vegetación herbácea y arbustiva, lo cual es considerada un área pequeña comparada con zonas destinadas a Bosque tropical. Sin embargo, alberga gran diversidad de especies (Díaz Acevedo et al. 2020, García et al. 2020). Colombia es considerado uno de los países con mayor biodiversidad debido que posee el 10% de la biodiversidad mundial. De esta manera ocupa el primer lugar para las especies de aves y orquídeas, segundo en plantas y anfibios, tercero en reptiles y cuarto en mamíferos. Ya que posee 1.876 especies de aves registradas, 700 especies registradas de anfibios, 520 de especies reptiles, 456 especies reportadas mamíferos, Quinto país en número de primates entre los que se clasifican 30 especies, 3.000 especies de mariposas, 1.200 especies de animales marinos y 1.600 especies de agua dulce aproximadamente. Toda esta diversidad permite que se presente un valor ecosistémico debido al equilibrio que permiten en la naturaleza (Montenegro-Muñoz et al. 2019; Página oficial: [www.colombia.co](http://www.colombia.co)).

En este orden de ideas, esta investigación evalúa el estado de las áreas y complejos de páramos que se encuentran ubicados en el departamento del Tolima, Dicho departamento está ubicado en la parte central del país con una altitud promedio sobre el nivel del mar de 1.285 m. Igualmente, cuenta con áreas de reserva natural y está compuesto un área con parte de la cordillera central. Por ende, en el lugar del cañón del río Combeima se logra observar el nevado del Tolima encontrándose desde los 1400 msnm y 4200msnm (página web oficial: [www.tolima.gov.co](http://www.tolima.gov.co)).

## **2.1. Situación problema**

Como se ha mencionado Colombia se considera una de las 12 naciones más mega diversas del planeta ya que posee el 50% de páramos en el mundo, por esta razón son de suma importancia siendo el hábitat de gran cantidad de especies animales y aves tanto típicas como migratorias. Por lo que, cerca del 10% de la biodiversidad del país se encuentra en las áreas de páramo. Adicionalmente, los páramos ofrecen los denominados servicios ambientales entre los cuales encontramos: (1) mantenimiento de la diversidad genética. (2) provisión de hábitat a especies de animales endémicas y amenazadas. (3) servicios culturales contando con paisajes naturales de valor estético, espiritual, e importantes para el desarrollo cognitivo, asimismo son escenarios utilizados para educación, investigación, monitoreo y recreación. (4) los servicios hidrológicos haciendo referencia al abastecimiento de agua y regulación hídrica, permitiendo mantener la calidad del agua para consumo humano, actividades pecuarias por medio de la regulación de la oferta hídrica de los ríos. (5) Almacenamiento de carbono en la biomasa de coberturas vegetales y suelos de los ecosistemas de páramo y bosque andinos lo cual se traduce en aportes a la regulación del clima y mitigación del cambio climático.

Por lo anterior, las zonas de páramos, subpáramos poseen protección por medio de las denominadas Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los complejos de páramos que se encuentran incluidas dentro del programas de ANP, los cuales de acuerdo con la comunidad se han visto alterados o proyección de alteración con fines comerciales e industriales como, por ejemplo: la minería, la construcción vial y construcción urbanística.

## **2.2. Antecedentes Legales.**

Colombia es un Estado Social de Derecho que se rige por la Constitución Política de Colombia de 1991. La principal función de esta constitución es asegurar a los integrantes la igualdad, la vida, la convivencia, el conocimiento, la libertad y la paz, bajo un marco jurídico y participativo de manera justa. Por tal razón, para validar esta investigación es importante resaltar en la posición de la constitución política explícita respecto a la seguridad de los páramos. Para esto se menciona la **Ley 1930 de 2018**.

### **CAPÍTULO I**

*ARTICULO 2. Principios. Para el desarrollo del objeto y de las disposiciones que se establecen en la presente ley, se consagran los siguientes principios:*

*1. Los páramos deben ser entendidos como territorios de protección especial que integran componentes biológicos, geográficos, geológicos e hidrográficos, así como aspectos sociales y culturales.*

*2. Los páramos, por ser indispensables en la provisión del recurso hídrico, se consideran de prioridad nacional e importancia estratégica para la conservación de la biodiversidad del país, en armonía con los instrumentos relevantes de derecho internacional de los que la República de Colombia es parte signataria.*

*ARTÍCULO 3. Definiciones. Para efectos de la presente ley se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:*

***Páramo. Ecosistema de alta montaña, ubicado entre el límite superior del Bosque Andino y, si se da el caso, el límite inferior de los glaciares, en el cual dominan asociaciones vegetales tales como pajonales, frailejones, matorrales, prados y chuscales, además puede haber formaciones de bosques bajos y arbustos y presentar humedales como los ríos, quebradas, arroyos, turberas, pantanos, lagos y lagunas, entre otros.***

*Habitantes tradicionales de páramo. Las personas que hayan nacido y/o habitado en las zonas de los municipios que hacen parte de las áreas delimitadas como ecosistemas de páramo y que en la actualidad desarrollen actividades económicas en el ecosistema.*

***ARTÍCULO 5. Prohibiciones. El desarrollo de proyectos, obras o actividades en páramos estará sujeto a los Planes de Manejo Ambiental correspondientes. En todo caso, se deberán tener en cuenta las siguientes prohibiciones:***

***Desarrollo de actividades de exploración y explotación minera.*** Para el efecto, el Ministerio de Minas y Energía en coordinación con las autoridades ambientales y regionales y con base en los lineamientos que expida el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible reglamentará los lineamientos para el programa de sustitución que involucra el cierre, desmantelamiento, restauración y reconfiguración de las áreas intervenidas por las actividades mineras, y diseñará, financiará y ejecutará los programas de reconversión o reubicación laboral de los pequeños mineros tradicionales que cuenten con título minero y autorización ambiental, procurando el mejoramiento de sus condiciones de vida.

***Se prohíbe el desarrollo de actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, así como la construcción de refinerías de hidrocarburos.***

3. *Se prohíben las expansiones urbanas y suburbanas.*

4. *Se prohíbe la construcción de nuevas vías.*

5. *Se prohíbe el uso de maquinaria pesada en el desarrollo de actividades agropecuarias. El uso de otro tipo de maquinaria estará sujeto al desarrollo de actividades orientadas a garantizar un mínimo vital, de conformidad con el plan de manejo del páramo.*

6. *Se prohíbe la disposición final, manejo y quema de residuos sólidos y/o peligrosos.*

7. *Se prohíbe la introducción y manejo de organismos genéticamente modificados y de especies invasoras.*

8. *Salvo en casos excepcionales, el uso de cualquier clase de juegos pirotécnicos o sustancias inflamables, explosivos y químicos está prohibido.*

9. *Se prohíben las quemas.*

10. *Se prohíben las talas, con excepción de aquellas que sean necesarias para garantizar la conservación de los páramos, siempre y cuando cuenten con la autorización y lineamientos de la autoridad ambiental.*

11. *Se prohíbe la fumigación y aspersión de químicos deberá eliminarse paulatinamente en el marco de la reconversión de actividades agropecuarias.*

12. *Se prohíbe la degradación de cobertura vegetal nativa.*

13. *Se prohíben los demás usos que resulten incompatibles de acuerdo con el objetivo de conservación de estos ecosistemas y lo previsto en el plan de manejo del páramo debidamente adoptado.*

Por la anterior posición explícita de la constitución política colombiana se establecieron surge la pregunta de investigación ¿Todas las áreas delimitadas como páramo en el departamento del Tolima, se encuentran incluidas en áreas legales de conservación? Para poder responder se establecieron unos objetivos para corroborar la veracidad de la información.

### 3. Objetivos

1. Identificar las áreas naturales protegidas (ANP) del departamento del Tolima
2. Identificar la ubicación o área de los complejos de páramo en el Tolima
3. Comparar las áreas legalmente protegidas del departamento del Tolima con las áreas que presentan áreas de paramo.
4. Identificar Áreas con títulos mineros en el departamento del Tolima.

### 4. Revisión de literatura

La explotación intensiva de suelos de páramo es un tema que se encuentra poco documentado. Por lo tanto, se inician estudios de como ocurre la exploración de páramos y la regeneración de estos, ya sean antrópica o naturalmente en Ecuador. Permitiendo una evaluación de uso de tierra y cobertura, para ello se han utilizado imágenes de Landsat 8-OLI, implementación de Análisis de imagen basados en objetos geográficos (OBIA) por medio de la herramienta de ArcGIS y el algoritmo de clasificación CART, que es un método de aprendizaje automático basado en un entrenamiento para la predicción. Esta investigación permitió concluir que la utilización y explotación de páramos transforma el ecosistema reduciendo su funcionalidad aunque presente una regeneración del mismo (García et al. 2020)

Por otro lado, se ha realizado investigaciones hacia la fauna de los páramos en especial el oso de andino (*Tremarctos ornatus*) para esto se evalúa el hábitat que se encuentra apto para la supervivencia de la especie y se encuentran protegidas. Para llevar a cabo esta investigación utilizaron cámaras trampa infrarrojas y activadas por movimiento, distancia de todas las carreteras mapeadas en Open Street Map, y se utilizó el programa de ArcGIS para variables especiales como la elevación, la pendiente, la cobertura forestal y la distancia a las carreteras en el área de estudio. El parámetro de NDVI, evaluación de Precipitación y utilización de R. concluyendo que algunos de los hábitats permanecen sin información cartográfica y aún existen áreas para conservar fuera del área de distribución de osos andinos que se encuentran reconocidas en el Ecuador (Morrell et al. 2021).

Un estudio similar en Perú, utilizaron información regional y entrevistas para realizar georreferenciación en hábitat marginales y adecuados, así como protegidos para el oso andino. Para este estudio utilizaron modelo con receiver operating characteristic curve (ROC) parcial para predicción, extracción de información climática por medio de WorldClim y utilización del programa ArcGis, versión 10.1 y el algoritmo MaxEnt, este último algoritmo de aprendizaje permite modelar nichos de especies. Para esta investigación encontraron tres sectores para investigación y conservación prioritaria debido a la conectividad de páramos protegidos y bosques, encontrando que el hábitat de oso andino solo representa el 7% de toda el área estudiada encontrando avistamientos fuera del área de hábitat de adecuado (Figuerola et al. 2016).

Otras investigaciones que se han realizado por medio de herramientas de percepción remota o sistemas de información geográfica, fue realizada en Colombia para la evaluación de áreas

mineras y cambios de cobertura. Para este caso, han utilizado mediciones por GPS, entrevistas y fotografías. Igualmente, utilización de imágenes de Sentinel-2 descargadas del centro de Copernicus. Utilización de corrección atmosférica y radiométrica leve-2A usando Sen2Cor igual a 12 Bandas, tamaño de píxel de 10 m. utilización de support vector machine classifier (SVM) que es un clasificador supervisado no paramétrico. A diferencia de las investigaciones anteriores esta investigación se realizó con la implementación de QGIS y evaluación los parámetros de NDVI. Concluyendo que la localización de pérdida de vegetación y recuperación en tiempo no es la óptima, debido en que algunas zonas mineras se han dejado expuestas y abandonadas las cuales en su mayoría fueron o son explotaciones ilegales (Ibrahim et al. 2020).

En el departamento del Tolima que es nuestra zona de interés, no existe información previa de estudios respecto a los complejos de páramos, áreas de conservación y minería. Sin embargo, se encontró estudio de simulación de flujos piroclásticos del volcán cerro Machín, el cual se encuentra activo y es uno de los más monitoreados debido que no posee apertura. De ahí la importancia de este estudio. Para este estudio se utilizó ArcGIS con el geoprocesamiento de Model Builder para lograr estimar el comportamiento a una erupción en un escenario futuro, así mismo Flow 3D y TITAN 2D para presentaciones gráficas. Concluyendo que varias de las zonas aledañas urbanas se verían afectadas en un escenario de erupción (Cárdenas Quiroga & Pulido Valero 2012).

Por último, se ha utilizado la herramienta de ArcGIS para identificar el potencial de distribución espacial del vector de la enfermedad de huanglongbing (HLB) conocido como enverdecimiento de los cítricos en el departamento del Tolima, para ello crearon un mapa con el software indicando los lugares donde se encuentran cultivos de cítricos, viveros y lugares donde hay mayor presencia de dicha enfermedad para mantener un mejor control de la misma (Araque & Arévalo 2018).

## **5. Metodología**

Para iniciar se realiza una búsqueda de información, por medio de la utilización de la base de datos abiertos otorgados por las entidades públicas, de manera que se pueda extraer la información en los archivos tipo “shapefile” y se pueda contener la mayor información posible. Para lograrlo usamos las siguientes plataformas:

Búsqueda en la plataforma de la entidad pública de corporación autónoma regional del Tolima (CORTOLIMA; <https://datosabiertos.cortolima.gov.co/>), la cual presenta un buscador de información permitiendo mayor facilidad y rapidez de búsqueda de información. Para esto se selecciona la opción de “shapefile” para lograr ver datos de áreas de conservación y complejos de páramos específicamente del departamento del Tolima. (Apéndice 1.)

Por otro lado, se inició la búsqueda de información para mapa de jurisdicción del departamento del Tolima y búsqueda de documentos tipo “shapefile” con la información de explotación y títulos mineros. Para esto se recurrió a la plataforma de Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC; <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>) para la descarga de la información deseada (Apéndice 1.).

Se encontró una falta de información de las plataformas de datos abiertos mencionados. Sin embargo, se encuentran disponibles los geovisores de distintas entidades públicas. Las cuales se usaron como referencia para poder tener indicios de la situación minera en el departamento del Tolima. Así pues, se utilizó el geovisor de Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC; <http://www.siac.gov.co/geovisorconsultas>), permitiendo dibujar el área de interés dentro del mapa de Colombia y con aplicación de diferentes filtros para ver la información deseada. En nuestro caso queríamos corroborar la información de zonas y lugares de reserva en el Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales (REAA) (Apéndice 1.).

También, se utilizó información de la entidad de Sistema de información Minero Energético Colombiano (SIMEC; <http://www.simec.gov.co/>) y de la base de datos que se encuentra en conjunto de la Unidad de planeación minero-energética (UPME) y Sistema de información Minero Colombiano (SIMCO). (<https://www1.upme.gov.co/simco/Paginas/Mapas.aspx>). Encontrando en el geovisor del Servicio Geológico Colombiano (página oficial: <https://www2.sgc.gov.co/sgc/mapas/Paginas/geoportal.aspx>) información de las áreas con potencial mineral para definir áreas de reserva estratégica del estado para el año 2011 Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC; [https://srvags.sgc.gov.co/JSviewer/Areas\\_con\\_Potencial\\_Mineral\\_Version\\_2011/](https://srvags.sgc.gov.co/JSviewer/Areas_con_Potencial_Mineral_Version_2011/)). Por último, se logró con el Geovisor del Sistema de información geográfica de Sistema de información Minero Energético Colombiano (SIMEC; [http://sig.simec.gov.co/UPME\\_MI\\_minas/](http://sig.simec.gov.co/UPME_MI_minas/)) encontrar información de referencia de lugares donde se encuentran títulos mineros y lugares de minería de acuerdo al tipo de mineral que se puede o se realiza extracción en el departamento del Tolima (Apéndice 1.)

A consecuencia de la falta de información se recurre a realizar búsqueda en la plataforma de ArcGIS Online (<https://www.arcgis.com/home/index.html>), por medio de la herramienta del buscador. Logrando encontrar un archivo con información de títulos mineros en Colombia (<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=b8f366a12d384d158574b1b5003eb026>) del propietario GlobalForestWatch, una plataforma en línea que permite monitorear los bosques y como están cambiando casi en tiempo real. Este aplicativo permite que cualquier persona tenga acceso a la información, por lo que el archivo se puede abrir con ArcGIS Desktop descargando como un archivo item.pitem, a diferencia de los “shapefile” este tipo de archivo no se puede modificar o extraer información que contiene la capa (Apéndice 1).

Por otro lado, se extrajeron imágenes satelitales por medio de la plataforma <https://earthexplorer.usgs.gov/> con la finalidad de crear un mosaico del sitio de estudio. Por eso se estableció un rango del 1 de enero de 2019 a noviembre 2021, junto con área en polígono dentro del mapa que permita identificar el área de interés. Seguidamente, se selecciona el programa de satélite para extraer las imágenes en este caso se escogió el programa Landsat, collection 1 level-1 con Landsat 8 con sensor OLI/TIRS. Después de una revisión de las imágenes del área que sean lo más recientes posibles y con menor presencia de nubes, se selecciona la imagen deseada y se proceden a descargar escogiendo el archivo de tipo GeoTIFF, se debe tomar en consideración que los archivos queden en la carpeta conectada al programa de ArcGIS y poder extraer la información

del archivo, cabe aclarar que las imágenes descargadas se encuentran con el sistema de coordenadas de GCS\_WGS\_1984. (Apéndice 2)

Una vez se tenga toda la data descargada se procede a revisar la información que posee cada una de ellas y realizando los ajustes necesarios. Para lograrlo, se utilizó el software ArcGIS (ArcMap versión 10.7.1) para llamar y superponer las capas de información. Se inicia revisando el sistema de georreferenciación de cada uno para saber si coincide o se necesita realizar transformaciones. En este trabajo los “shapefile” de áreas de conservación, jurisdicción y complejos de páramos del Tolima se encuentra con un sistema de coordenadas GCS\_MAGNA con proyección de sistema de coordenadas MAGNA\_Colombia\_Bogota. Por lo tanto, no se necesitó utilizar ningún tipo de transformación o proyección. De ahí se logró Sobreponer capas (layers) para identificar las áreas protegidas en el departamento del Tolima y las áreas de páramos con éxito (Apéndice 3).

Después de identificar las áreas, se procede a iniciar a llamar las imágenes descargadas de Landsat 8 con sensor OLI/TIRS. Para poder cubrir toda el área del departamento del Tolima se necesitaron un total de 5 imágenes, hay que recordar que poseen diferente sistema de coordenadas, pero el programa de ArcMap realiza un ajuste de manera automático sin inconvenientes. Así mismo, para evitar confusiones se procesó cada imagen de manera individual. Para lograrlo, se inició con llamando el archivo MTL que posee el paquete completo de datos de la imagen, y adicionalmente por separado la banda 8 correspondiente a la banda pancromática. Por cada imagen se realizó un *pansharpening* y se editó con la herramienta de *Image Analysis*, para mejorar la visibilidad. Sin embargo, al tener todas las imágenes de diferente fecha, manteniendo un contraste y brillo igual, se puede notar levemente las diferencias en la cobertura. Pero no es significativo para nuestro trabajo (Apéndice 3).

Por otro lado, cuando se desea realizar un mosaico de diferentes imágenes se deben guardar nuevamente las imágenes previamente procesadas (*pansharpening*) con la proyección de sistema de coordenadas de las demás capas. Para lograrlo se utilizó la herramienta de ArcToolbox y en “*data management tools*”, *Projections and transformatos*, *Raster*, *Project raster*, después de ingresar la información de que imagen se quiere proyectar se puede seleccionar *Spatial reference properties* y se selecciona a que sistema de coordenadas se desea realizar la proyección, para este ejercicio se seleccionó el layer de jurisdicción que tenía una proyección de sistema de coordenadas MAGNA\_Colombia\_Bogota, Una vez que se realicen la proyección será visible el letrero de que se realizó de manera correcta. Este procedimiento se realiza con todas las 5 imágenes descargadas (Apéndice 3).

Después de realizado la proyección, en la misma sección de la herramienta de ArcToolbox y en “*data management tools*”, se selecciona en *Raster*, la opción de *Raster dataset y Copy raster*. Una vez nos habilite la ventana se debe realizar la selección de imagen y para este ejercicio es indispensable ignorar los datos de background que posee las imágenes, y para ello se debe poner “0” al igual que en *NoData Value*. Por último, debido que las imágenes se seleccionaron de landsat 8, se puede seleccionar que el tipo de píxel es *16 Bits unsigned*. Una vez que finaliza el proceso, nuevamente se utilizan las herramientas, pero en se cambia la copia de raster por *Mosaic*

*to new ráster*, en esta ventana se seleccionara todas las imágenes que se desean para crear el mosaico y se mantiene el píxel. Es importante en este punto la sobreposición de las imágenes ya que según como las tengamos ubicadas, así mismo nos queda el mosaico (Apéndice 3).

Una vez se culmine el proceso, se prosigue con las demás capas de información y se finaliza con la organización del mapa, identificando título, leyenda, grátícula y demás detalles.

## 6. Resultados y discusión

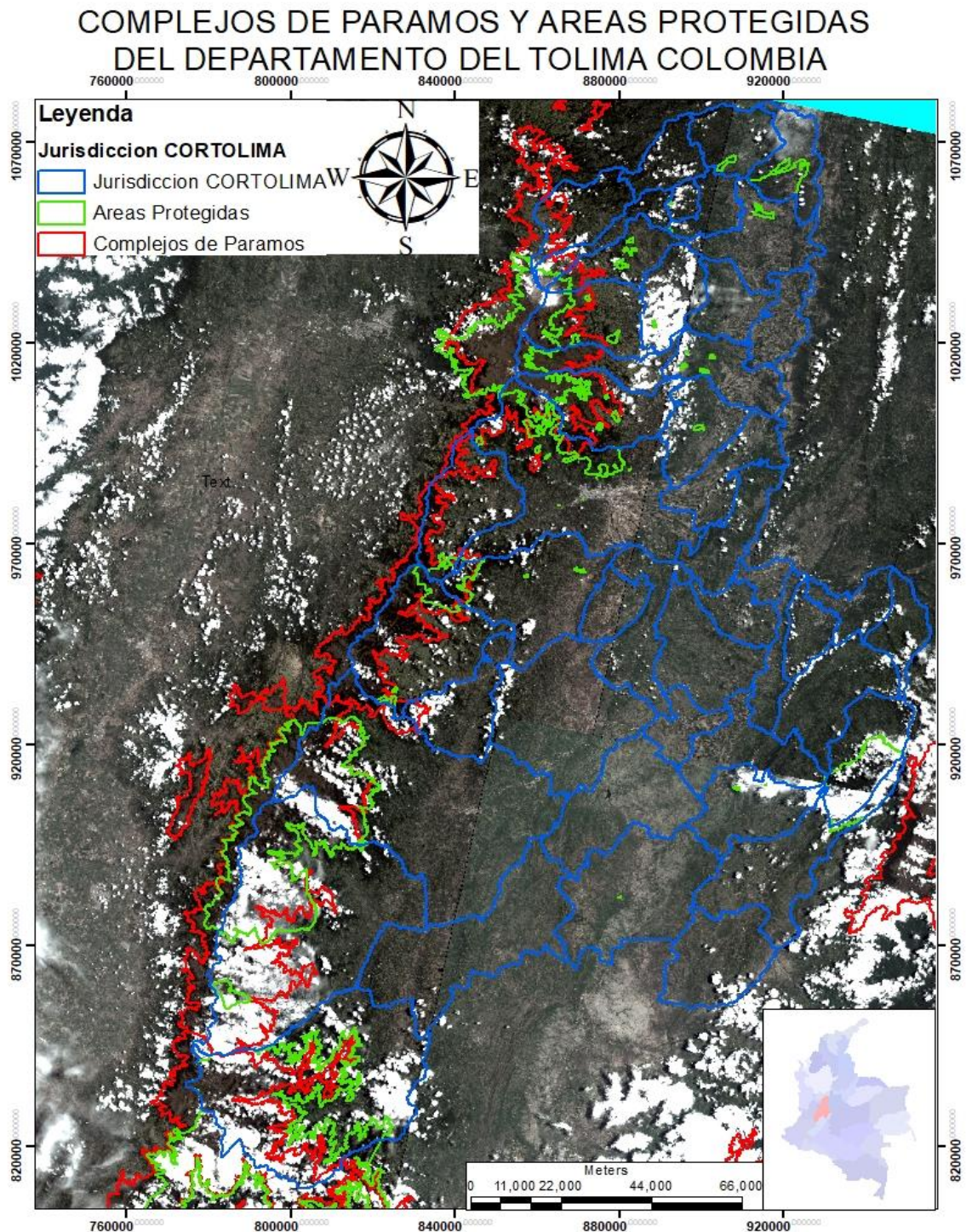


Imagen1: Mapa procesado con el programa ArcMap, identificando los complejos de paramos y áreas protegidas del departamento del Tolima en Colombia, sobre un mosaico de imágenes de landsat 8

## COMPLEJOS DE PARAMOS, AREAS PROTEGIDAS Y TITULOS MINEROS EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA

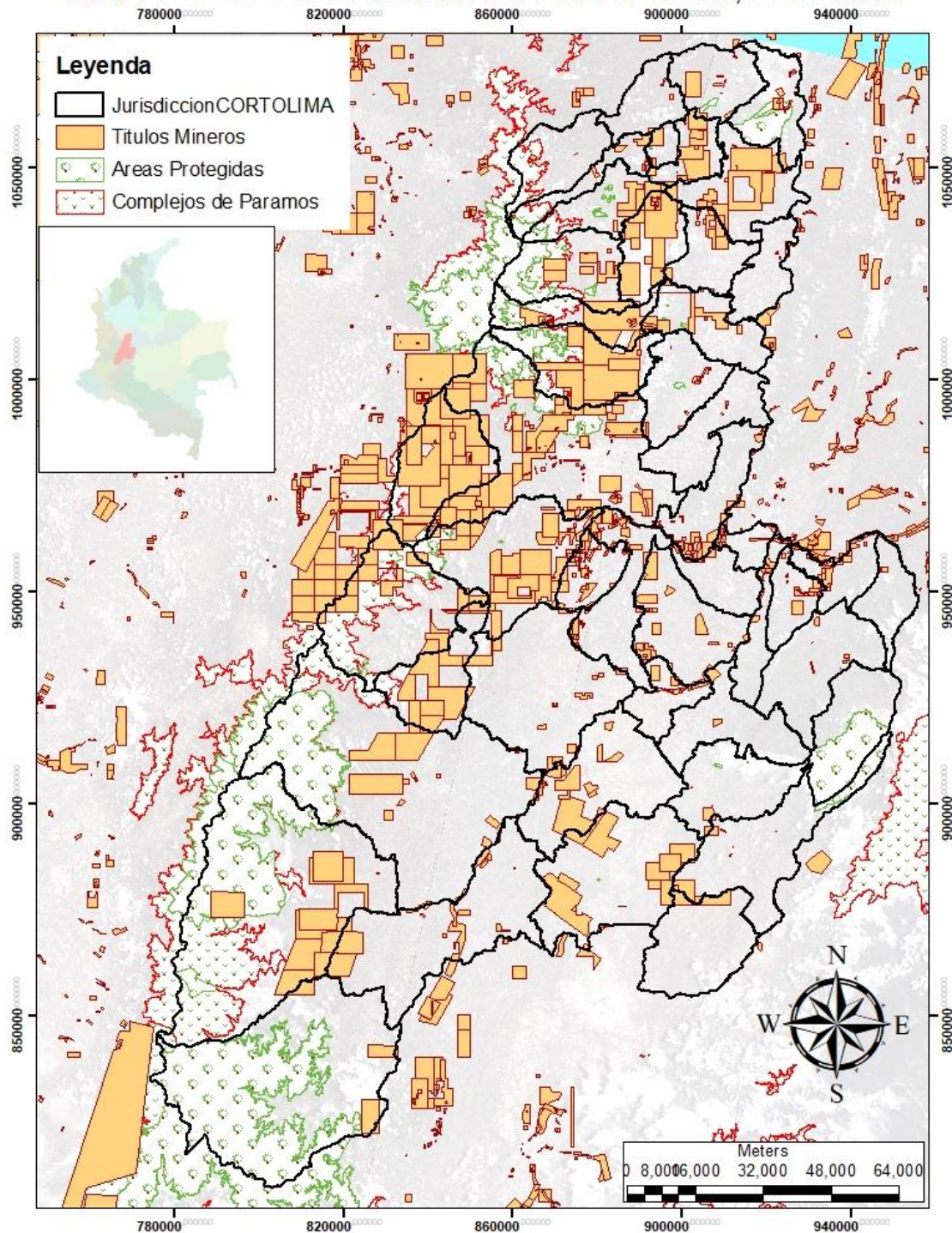


Imagen 2: Mapa procesado con el programa ArcMap, identificando los complejos de paramos, áreas protegidas del departamento del Tolima en Colombia, sobre un mosaico de imágenes de landsat 8 con ajuste de en transparencia con la herramienta de Image Analysis.

De acuerdo con la pregunta de nuestra investigación ¿Todas las áreas delimitadas como páramo en el departamento del Tolima, se encuentran incluidas en áreas legales de conservación? Podemos responder que no, ya que logramos observar en la superposición de capas que las áreas que son declaradas de conservación no son las mismas y por el contrario se encuentra fragmentados los lugares de conservación. Aunque, se presume que hay compromiso de conservación. Debido a que se encontró un déficit de actualización de información por parte de las entidades públicas encargadas de manejar la información de lugares de explotación minera, así como falta de accesibilidad a datos en forma de “shapefile”

Por lo anterior, logramos un análisis cualitativo con la información disponible observando que hay interés de explotación minera cerca o dentro de las áreas de páramos (Imagen 2), contrastado con los geovisores de las entidades públicas. En los cuales se encontraron las áreas con potencial mineral para definir áreas de reserva estratégica del estado, entre los cuales se encuentran áreas clasificadas de tres tipos: Tipo I, de las cuales se tiene un conocimiento aceptable de los factores considerados. Tipo II, no se posee suficiente conocimiento geológico, geoquímico y geofísico, por lo cual se prioriza realizar trabajos para aumentar su conocimiento. Y Tipo III, que poseen bajo conocimiento geológico, geoquímico y geofísico, pero por las características se presume que tienen potencial en minerales estratégicos (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME 2014). Igualmente, al contrastar la información con el documento de títulos mineros descargado de ArcGIS Online cuyo propietario es GlobalForestWatch. Se supone que si hay presencia de minería muy cerca de las zonas de conservación y complejos de páramos, generando una gran preocupación de la situación.

Por lo tanto, se ha mencionado que se necesita implementar mayores estrategias de conservación para los complejos de páramos, para poder mejorar la continuidad de procesos ecológicos que se encuentran en estas áreas de páramo. Adicionalmente, es importante reconocer la participación de comunidades y organizaciones campesinas, indígenas, afro para un mejor manejo integral. Por lo que hace primordial la necesidad de entender y estudiar la complejidad de las iniciativas de conservación y los proyectos que ejercen desde la política y derechos comunitarios. Debido a que la comunidad se encuentra en relación con el páramo de manera directa o indirecta y pueden incurrir en una violación de derechos humanos o violación a la reglamentación de la constitución política (Sarmiento Pinzón et al. 2017, Vergara-Buitrago 2020).

## **7. Conclusiones y Recomendaciones**

En base de esta investigación la herramienta de ArcGIS fue muy importante para lograr la creación de mapas, analizando la información de la delimitación de áreas naturales protegidas (ANP) y los complejos de páramos en el departamento del Tolima. Encontrando que la mayoría se encuentran en la cordillera del departamento en dirección de norte a sur, teniendo una mayor densidad de áreas naturales protegidas y complejo de páramos en el sur del departamento.

Por los mapas generados, se puede concluir que no todas las áreas denominadas como complejos de páramos, son estrictamente áreas de conservación (Imagen 1). También se presume que hay presencia de minería en algunas de las zonas cercanas o dentro de áreas denominadas

complejos de páramo y de zonas de conservación, especialmente en el norte del departamento (Imagen 2)

Por lo tanto, se recomienda realizar una investigación exhaustiva de las áreas de conservación y complejos de paramos, junto con la georreferenciación correcta y delimitación de áreas de minería. De esta manera se conlleva a revisar las políticas entre las cuales se entran rigiendo las leyes de conservación y de explotación minera, y lograr reconocer con certeza la legalidad de dichas actividades mineras.

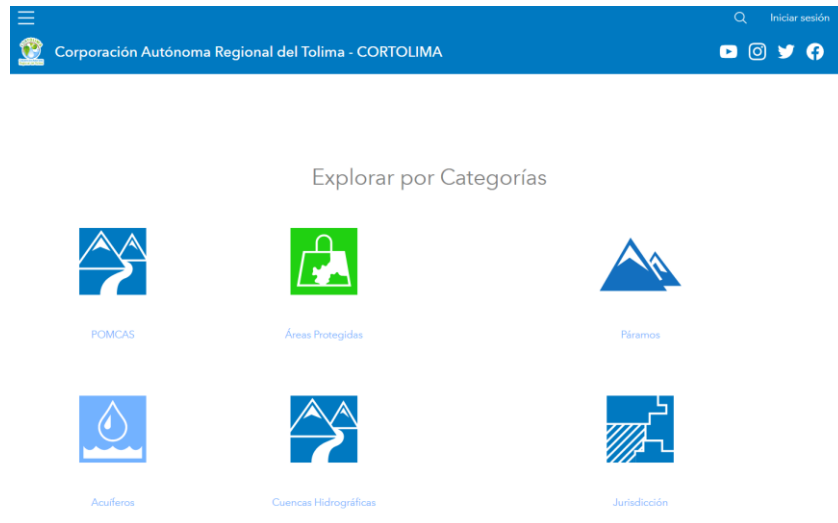
## 8. Literatura citada

- Araque W, Arévalo E (2018) Potencial distribución espacial del vector del HLB de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en el departamento del Tolima, Colombia. *Rev Colomb Ciencias Hortícolas* 12:545–560.
- Cárdenas Quiroga EA, Pulido Valero AI (2012) Simulación de flujos piroclásticos del volcán Cerro Machín, Colombia, mediante la aplicación de herramientas de ArcGIS(C). *Cienc e Ing Neogranadina* 22:63.
- Díaz Acevedo CJ, Romero-Alarcon LV, Miranda-Esquivel DR (2020) Páramos Neotropicales como unidades biogeográficas. *Rev Biol Trop* 68:503–516.
- Figuerola J, Stucchi M, Rojas-Verapinto R (2016) Modelación de la distribución del oso andino *Tremarctos ornatus* en el bosque seco del Marañón (Perú). *Rev Mex Biodivers* 87:230–238.
- García VJ, Márquez CO, Rodríguez M V., Orozco JJ, Aguilar CD, Ríos AC (2020) Páramo Ecosystems in Ecuador's Southern Region: Conservation State and Restoration. *Agronomy* 10:1922.
- Ibrahim E, Lema L, Barnabé P, Lacroix P, Pirard E (2020) Small-scale surface mining of gold placers: Detection, mapping, and temporal analysis through the use of free satellite imagery. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 93:102194.
- Montenegro-Muñoz SA, Delgado F, Pantoja YP, Calderon-Leyton JJ, Noguera-Urbano EA (2019) Especies emblemáticas para la conservación de ecosistemas en el departamento de Nariño, Colombia. *Rev Ecosistemas* 28:174–184.
- Morrell N, Appleton RD, Arcese P (2021) Roads, forest cover, and topography as factors affecting the occurrence of large carnivores: The case of the Andean bear (*Tremarctos ornatus*). *Glob Ecol Conserv* 26:e01473.
- Sarmiento Pinzón CE, Osejo Varona A, Ungar P, Zapata J (2017) Páramos habitados: desafíos para la gobernanza ambiental de la alta montaña en Colombia.
- Unidad de Planeación Minero Energética - UPME (2014) Plan Nacional de Ordenamiento Minero PNOM. 21–45.
- Vergara-Buitrago PA (2020) Estrategias implementadas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia para conservar los páramos. *Rev Ciencias Ambient* 54:167–176.

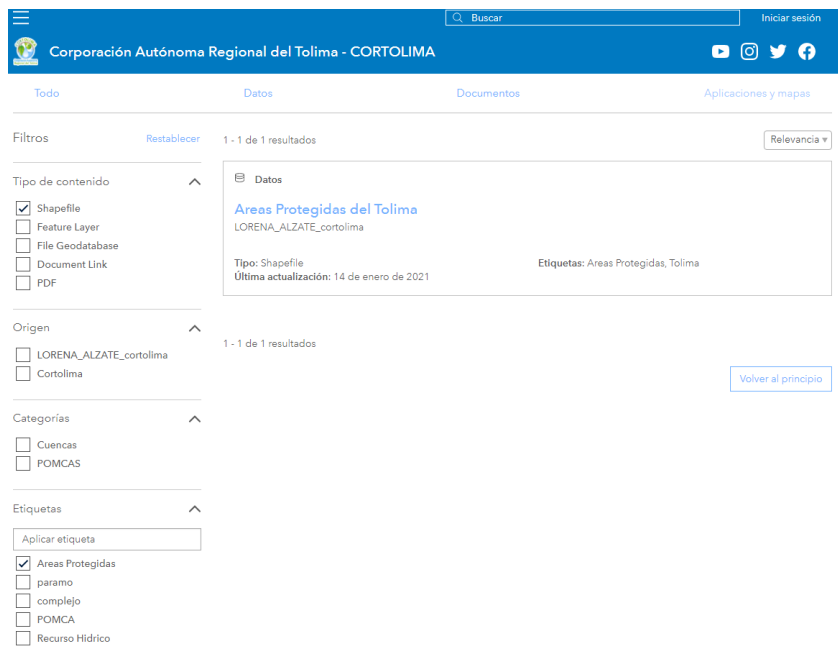
## 9. Apéndice 1: Búsqueda de información.

En este apéndice se encuentran los pasos a seguir para la realización de búsqueda de información, en todas las plataformas visitadas.

**Ilustración 1.** Búsqueda en la plataforma de la entidad pública de corporación autónoma regional del Tolima (CORTOLIMA)



**Ilustración 2.** Utilización del buscador de la plataforma de cortolima, seleccionando la opción de shapefile para descargar con toda la información posible y realizar el debido análisis en ArcMap.



**Ilustración 3.** Selección del archivo con la información de interés obtenida en la plataforma de cortolima y se procede a descargar con toda la información posible y realizar el debido análisis en ArcMap.

**Ilustración 4.** Búsqueda de información en la plataforma de Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC) para la descarga de la información de forma shapefile

| Tema                  | Subtema            | Nombre de capa                | Shape | PDF | Metadato | Entidad |
|-----------------------|--------------------|-------------------------------|-------|-----|----------|---------|
| Licencias ambientales | CONTINGENCIA VITAL | Contingencia Vital            |       |     |          | ANLA    |
| Licencias ambientales | ENERGIA            | Áreas proyectos energia       |       |     |          | ANLA    |
| Licencias ambientales | ENERGIA            | Punto proyectos energia       |       |     |          | ANLA    |
| Licencias ambientales | ENERGIA            | Líneas proyectos energia      |       |     |          | ANLA    |
| Licencias ambientales | ENERGIA            | Líneas alta tensión           |       |     |          | ANLA    |
| Licencias ambientales | HIDROCARBUROS      | Pozos otorgados hidrocarburos |       |     |          | ANLA    |
| Licencias ambientales | HIDROCARBUROS      | Ductos hidrocarburos          |       |     |          | ANLA    |
| Licencias ambientales | HIDROCARBUROS      | Áreas otorgadas hidrocarburos |       |     |          | ANLA    |

**Ilustración 5.** Búsqueda de información en la plataforma de Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC) utilizando el Geovisor

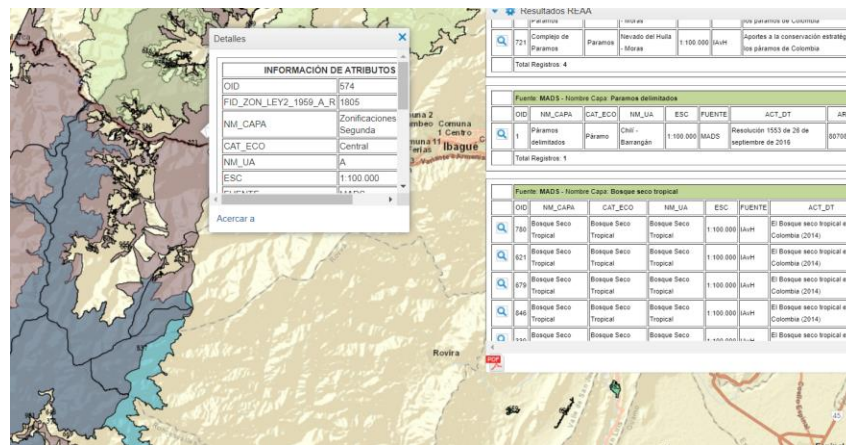


**Ilustración 6.** Búsqueda de información en la plataforma de Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC) utilizando el Geovisor corroborar la información de zonas y lugares de reserva en el Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales (REAA)

The screenshot shows the SIAC Geovisor interface with the 'Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales - REAA' section selected. On the left, there are instructions for using the REAA search tool, including 'OPCIÓN 1. VISUALIZACIÓN DE REAA' and 'OPCIÓN 2. CONSULTA EN LÍNEA DEL REAA'. Below these instructions are buttons for 'Validar', 'Mostrar Resultado', and 'Limpiar Datos'. On the right, a table titled 'Resultados REAA' displays search results. The table has columns for 'FUEITE', 'MADS', 'Nombre Capa', 'Zonificación de ley 2 de 1959', 'OID', 'NMU\_CAPA', 'CAT\_ECO', 'NM\_UA', 'ESC', 'FUEITE', 'ACT\_DT', 'AREA\_ha', 'LONG\_UIS', and 'AREA\_HA\_RS'. The table contains 15 rows of data, all showing 'Zonificaciones de Ley Segunda' in the Amazon region. Below the table, a map of Colombia is visible, showing the distribution of these areas.

| FUEITE | MADS                          | Nombre Capa | Zonificación de ley 2 de 1959 | OID       | NMU_CAPA | CAT_ECO                 | NMU_UA          | ESC      | FUEITE     | ACT_DT | AREA_ha | LONG_UIS | AREA_HA_RS |
|--------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-----------|----------|-------------------------|-----------------|----------|------------|--------|---------|----------|------------|
| 362    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 23057.880173    | 7385.386 | 31.90485   |        |         |          |            |
| 867    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 19647.2570245   | 78674.45 | 2220.134   |        |         |          |            |
| 213    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 3075.11600474   | 9687.232 | 169.0780   |        |         |          |            |
| 539    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 4740.77498829   | 82222.32 | 893.8054   |        |         |          |            |
| 551    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 12878.3350676   | 2943.632 | 22.51863   |        |         |          |            |
| 731    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 519.426551957   | 71324.71 | 421.5119   |        |         |          |            |
| 493    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 888.583684748   | 84771.19 | 889.8865   |        |         |          |            |
| 785    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 6303.52723971   | 69675.29 | 1689.841   |        |         |          |            |
| 500    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 1793.95993919   | 25457.46 | 523.735    |        |         |          |            |
| 390    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 2769.49608354   | 86333.6  | 2176.629   |        |         |          |            |
| 626    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 2997.54208717   | 8967.000 | 169.6196   |        |         |          |            |
| 480    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 1610.21523270   | 73449.95 | 1624.165   |        |         |          |            |
| 880    | Zonificaciones de Ley Segunda | Amazonia    | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1925 de 2013 | 1413.6279514    | 60378.19 | 1386.107   |        |         |          |            |
| 219    | Zonificaciones de Ley Segunda | Central     | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1922 de 2013 | 0.876389576885  | 483.1761 | 0.8837456  |        |         |          |            |
| 750    | Zonificaciones de Ley Segunda | Central     | A                             | 1:100.000 | MADS     | Resolucion 1922 de 2013 | 0.0700760797106 | 134.722  | 0.07068188 |        |         |          |            |

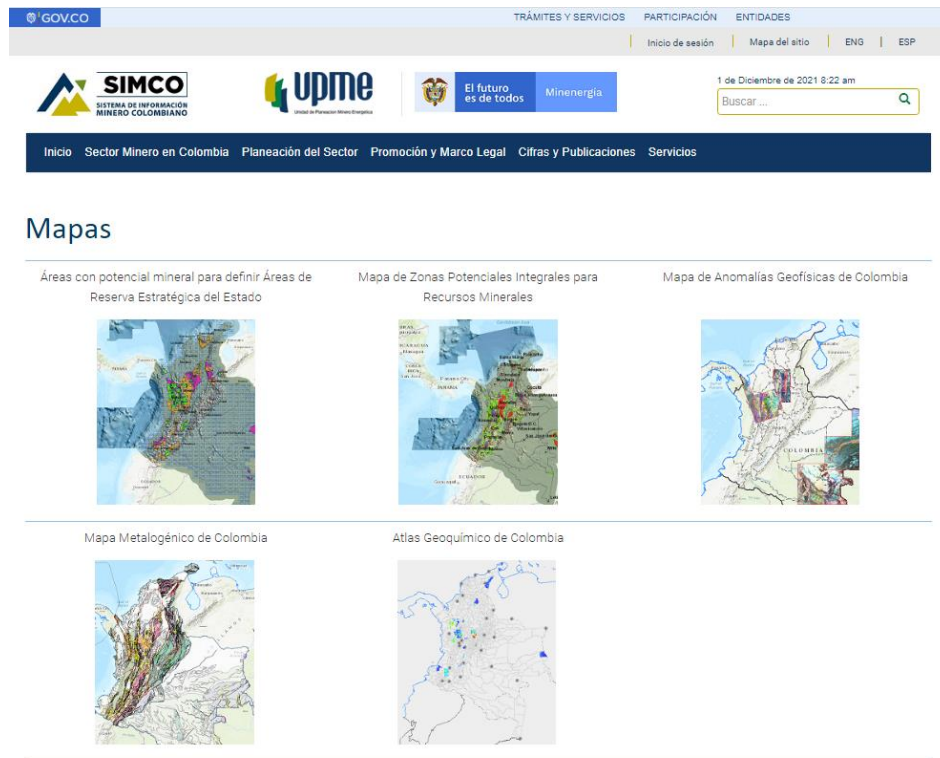
**Ilustración 7** Acercamiento de utilizando en el Geovisor Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC) corroborando la información de zonas y lugares de reserva en el Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales (REAA)



**Ilustración 8.** Búsqueda de información por medio de la página del Sistema de información Minero Energético Colombiano (SIMEC)

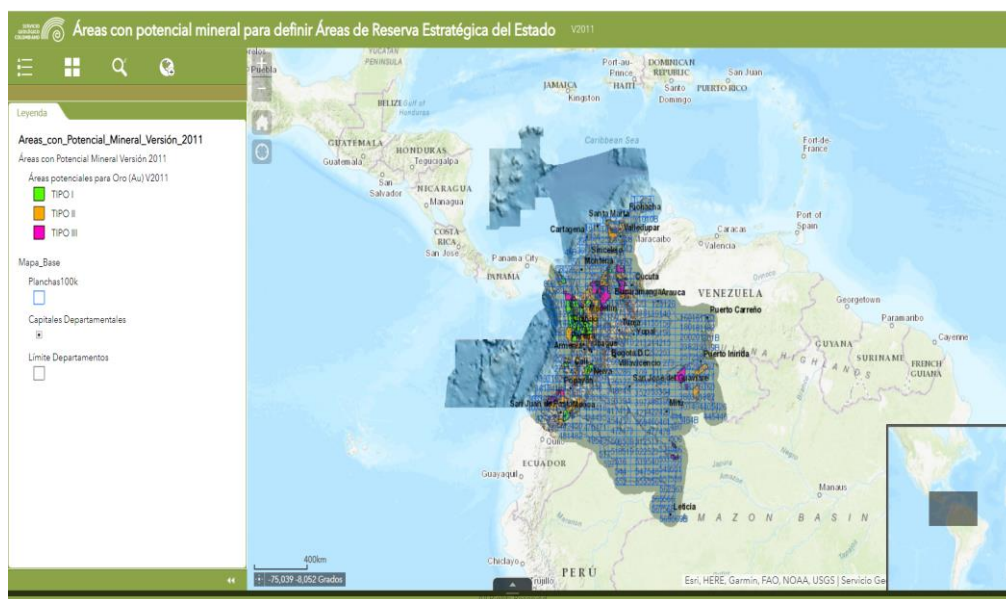


**Ilustración 9.** base de datos que se encuentra en conjunto de la Unidad de planeación minero-energética (UPME) y Sistema de información Minero Colombiano (SIMCO)

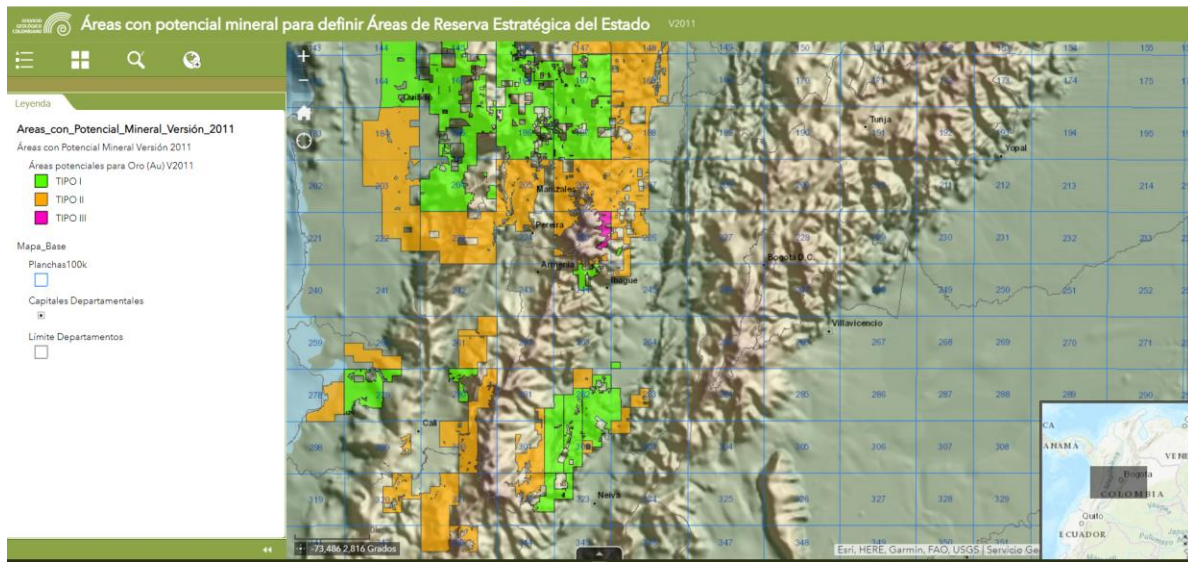


Fuente: Servicio Geológico Colombiano

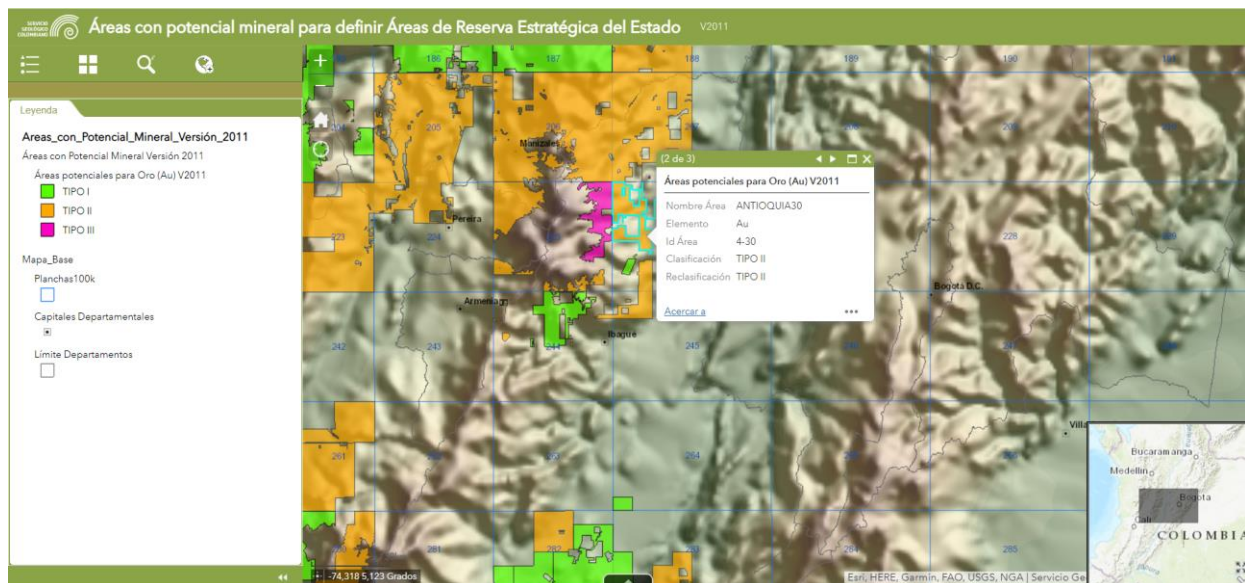
**Ilustración 10.** Geovisor del Servicio Geológico Colombiano con información de las áreas con potencial mineral para definir áreas de reserva estratégica del estado para el año 2011 en todo el territorio colombiano.



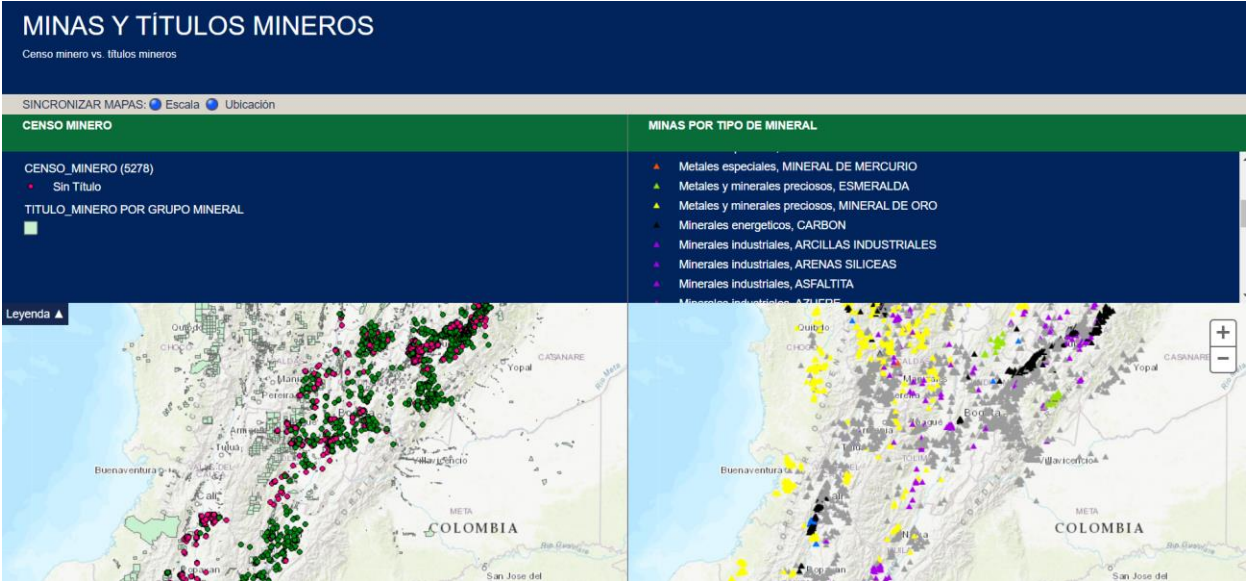
**Ilustración 11.** Geovisor del Servicio Geológico Colombiano con información de las áreas con potencial mineral para definir áreas de reserva estratégica del estado para el año 2011 con acercamiento al departamento del Tolima



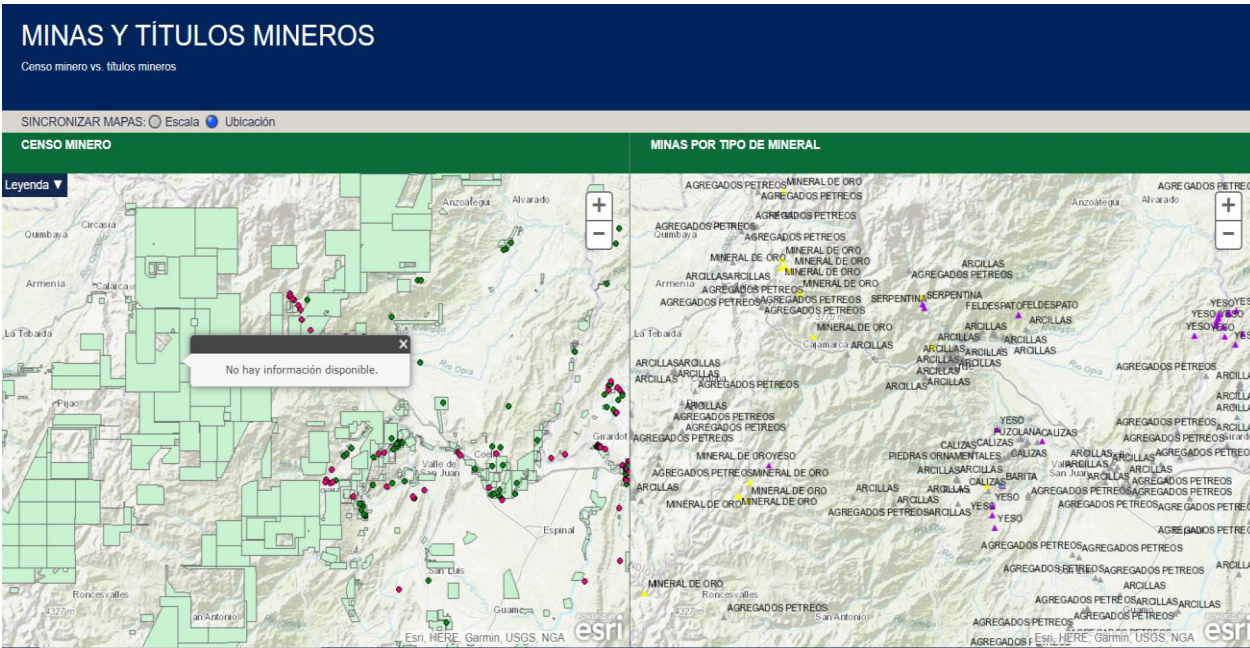
**Ilustración 12.** Geovisor del Servicio Geológico Colombiano con información de las áreas con potencial mineral para definir áreas de reserva estratégica del estado para el año 2011 con acercamiento al departamento del Tolima. Adicionalmente, con las áreas potenciales identificadas con sus tres tipos Tipo I, de las cuales se tiene un conocimiento aceptable de los factores considerados. Tipo II, No se posee suficiente conocimiento geológico, geoquímico y geofísico, por lo cual se prioriza realizar trabajos para aumentar su conocimiento. Y Tipo III, que poseen bajo conocimiento geológico, geoquímico y geofísico, pero por las características se presume que tienen potencial en minerales estratégicos



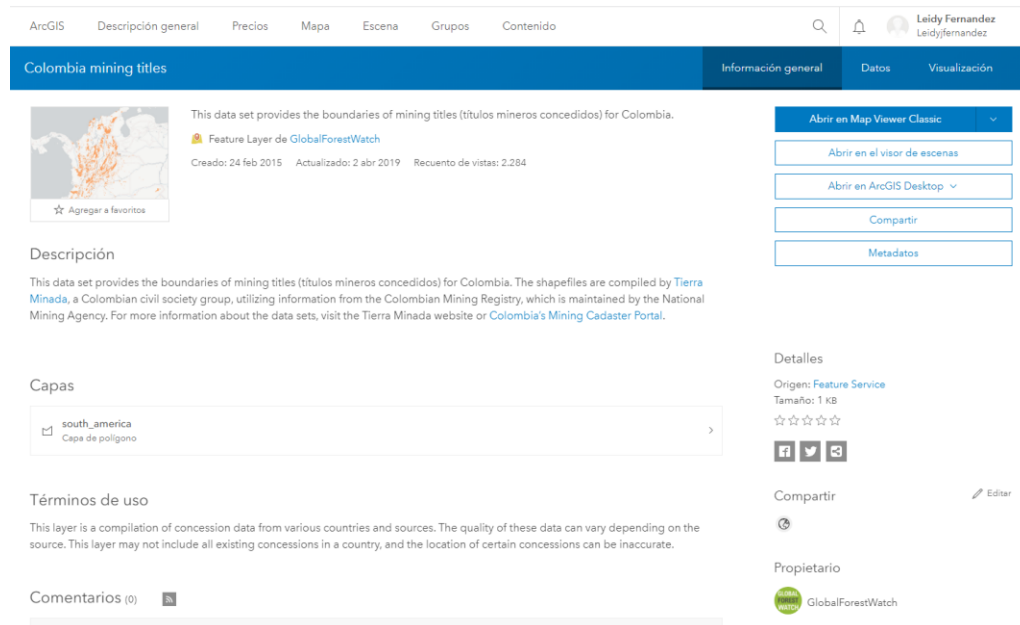
**Ilustración 13.** Geovisor del Sistema de información geográfica de Sistema de información Minero Energético Colombiano (SIMEC) con información de referencia de lugares donde se encuentran títulos mineros y lugares de minería, según el tipo de mineral que se puede o se realiza extracción en el departamento del Tolima



**Ilustración 14.** Geovisor del Sistema de información geográfica de Sistema de información Minero Energético Colombiano (SIMEC) con información de referencia de lugares donde se encuentran títulos mineros y lugares de minería, según el tipo de mineral que se puede o se realiza extracción en el departamento del Tolima con acercamiento en la zona de cordillera y de habitat de paramos.



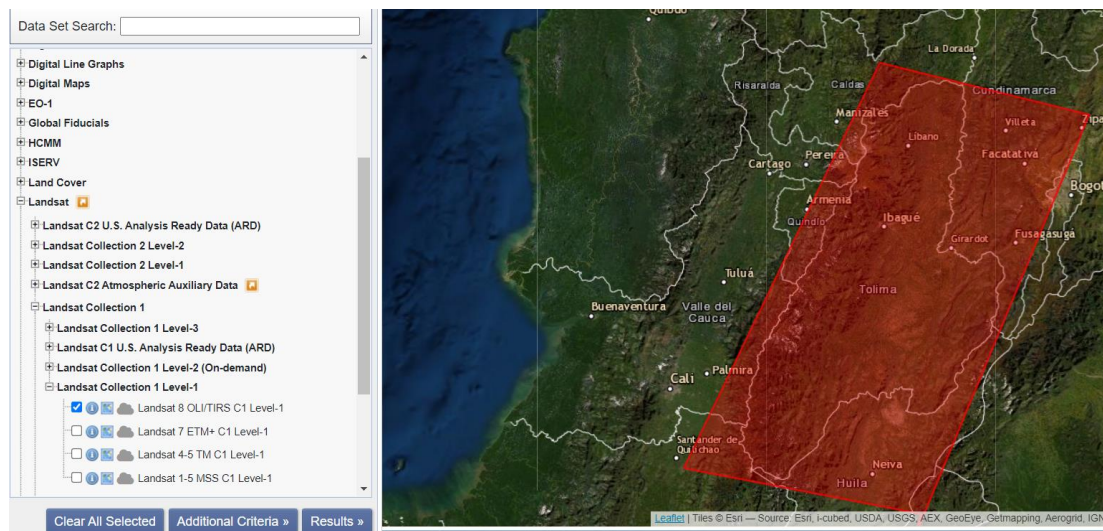
**Ilustración 15.** búsqueda en la plataforma de ArcGIS Online, con el archivo de información de títulos mineros en Colombia propietario GlobalForestWatch, Actualizado el 2 de abril de 2019. Este documento permite acceso a la información descargando como un archivo item.pitem y abriendo con el programa de ArcGIS Desktop.



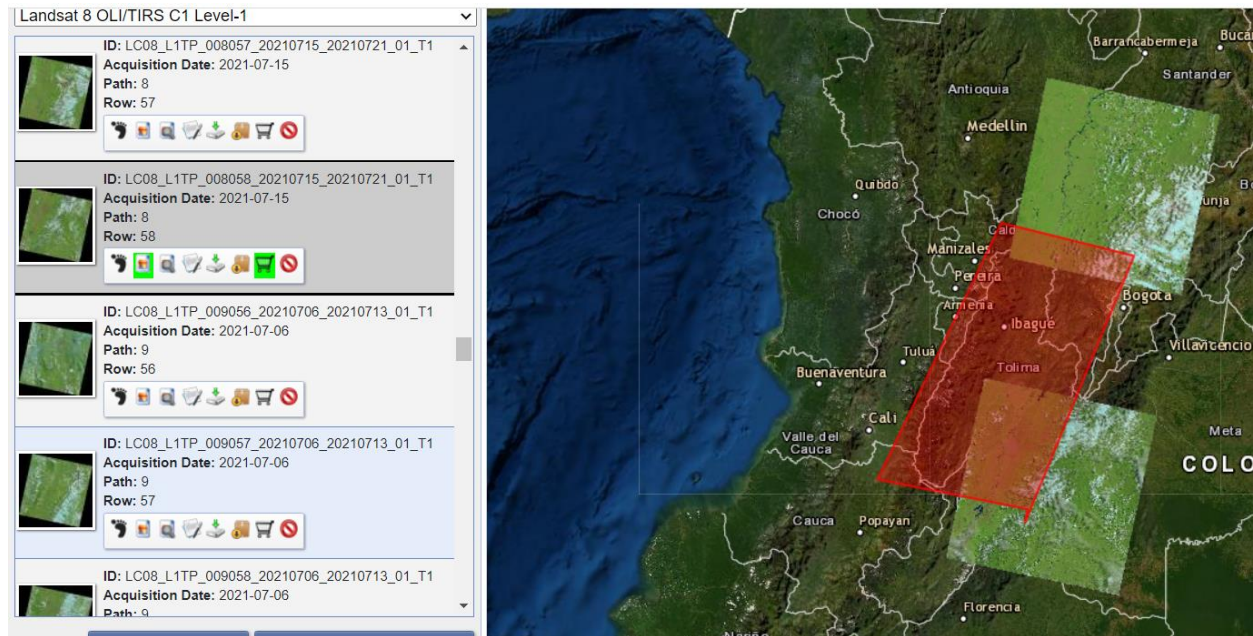
## 10. Apéndice 2: Descarga de Imágenes.

En este apéndice se permite observar los pasos para la descarga de imágenes satelitales, por medio de la plataforma <https://earthexplorer.usgs.gov/>, descargadas con el programa landsat 8 y con sensor OLI/TIRS

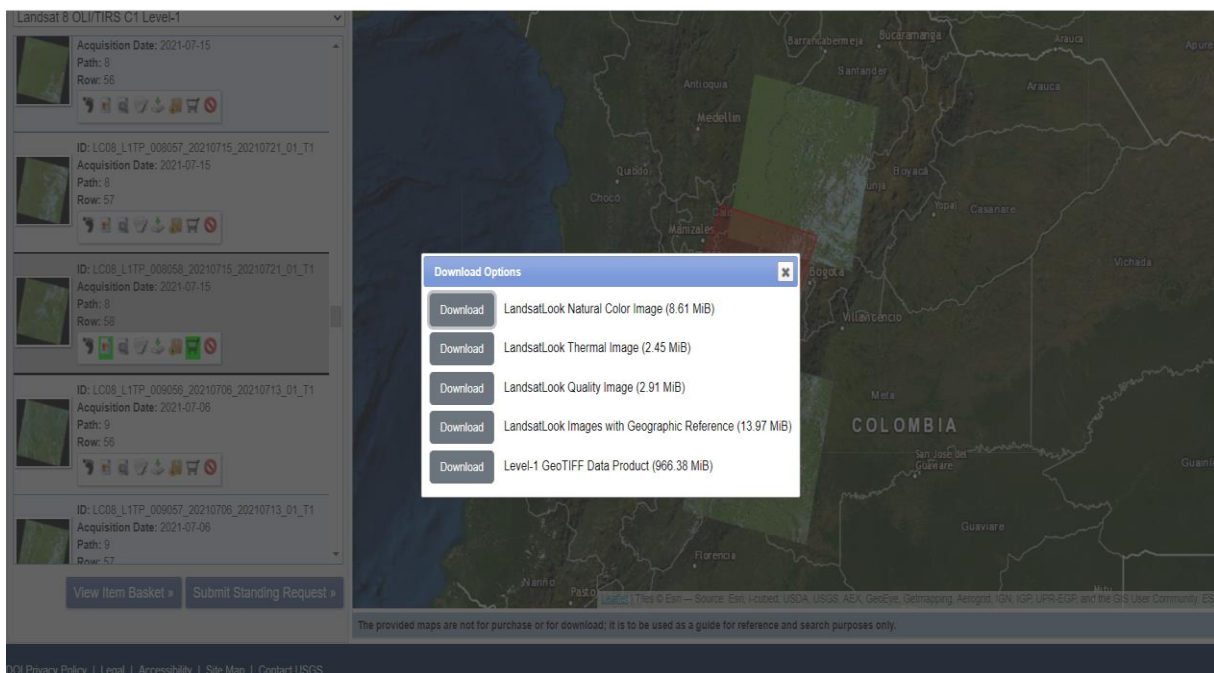
**Ilustración 16.** Identificación en la plataforma Earthexplorer el área de interés para obtener imágenes, búsqueda y selección de programa landsat 8 para la obtención de imágenes satelitales.



**Ilustración 17.** Identificación en la plataforma Earth explorer y en el área de interés la lista de imágenes por medio ladsant 8. Se debe buscar la cantidad de imágenes para cubrir toda el área de estudio, para ello se debe tomar en consideración la cantidad de nubes en esa área. para la obtención de imágenes satelitales.



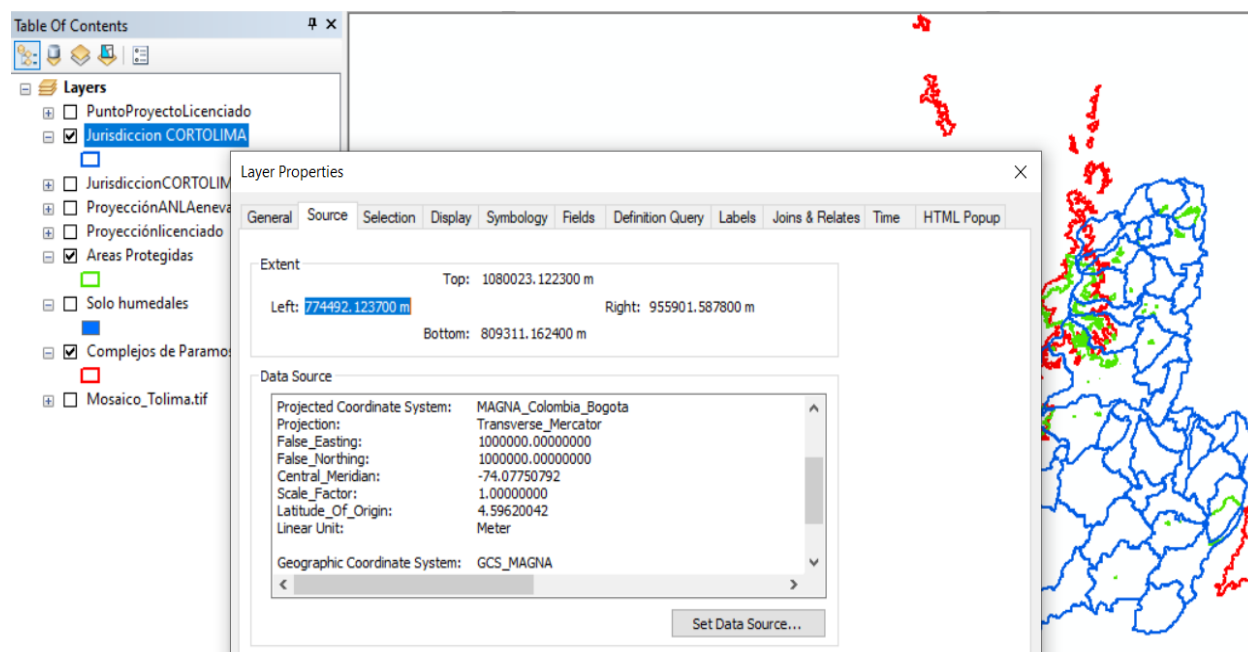
**Ilustración 18.** para descargar imágenes de la plataforma Earth explorer de ladsant 8. Se debe seleccionar la opción de descargar que contiene una pequeña flecha verde y se debe seleccionar el archivo de GeoTIFF.



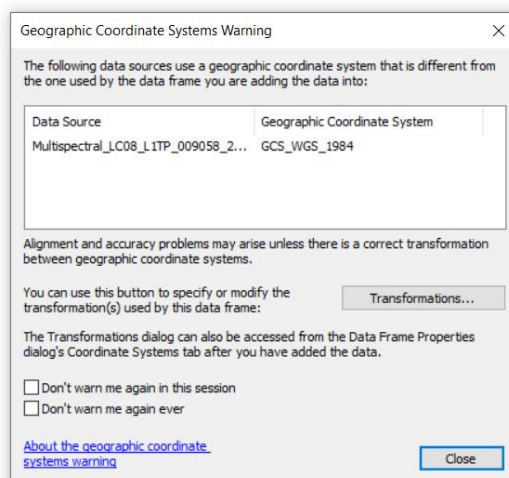
## 11. Apéndice 3: ArcMap

En este apéndice se logran observar los pasos realizados para el análisis en el software ArcGIS, utilizando ArcMAP

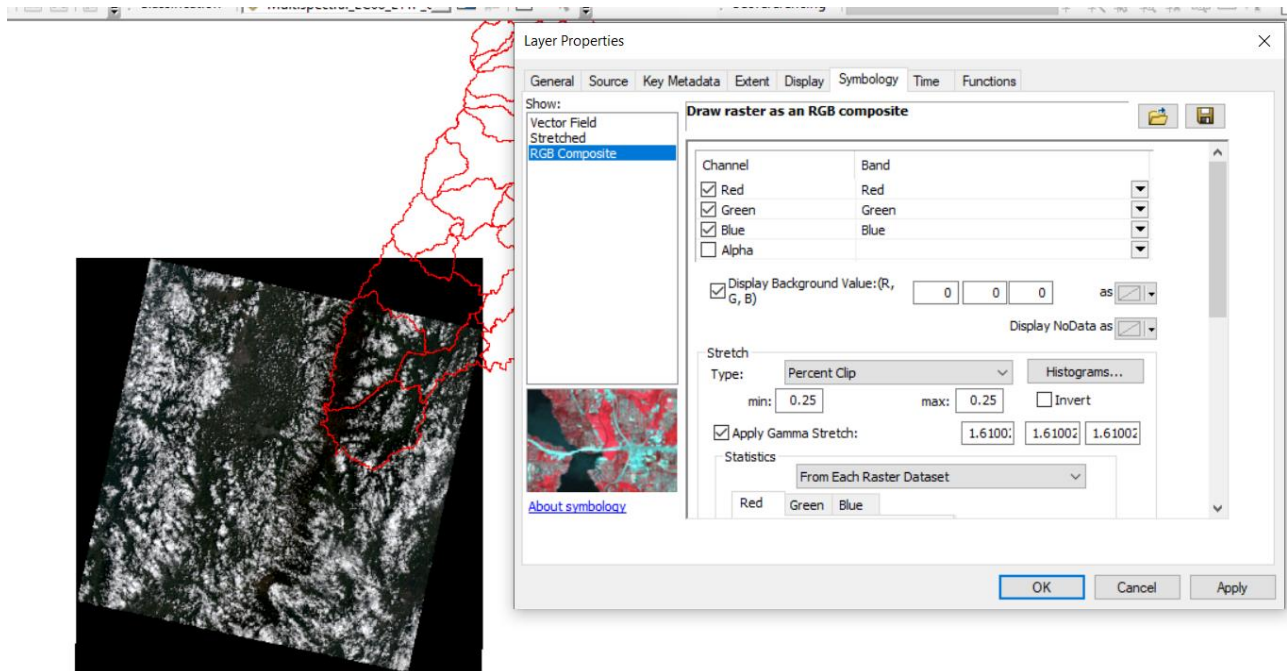
**Ilustración 19.** Sobreposición de capas de información descargadas de jurisdicción del Tolima, areas protegidas y complejos de paramos, en el cual se comprobó en las propiedades de los ley que poseían el mismo sistema de coordenadas y la misma proyección de sistema de coordenadas.



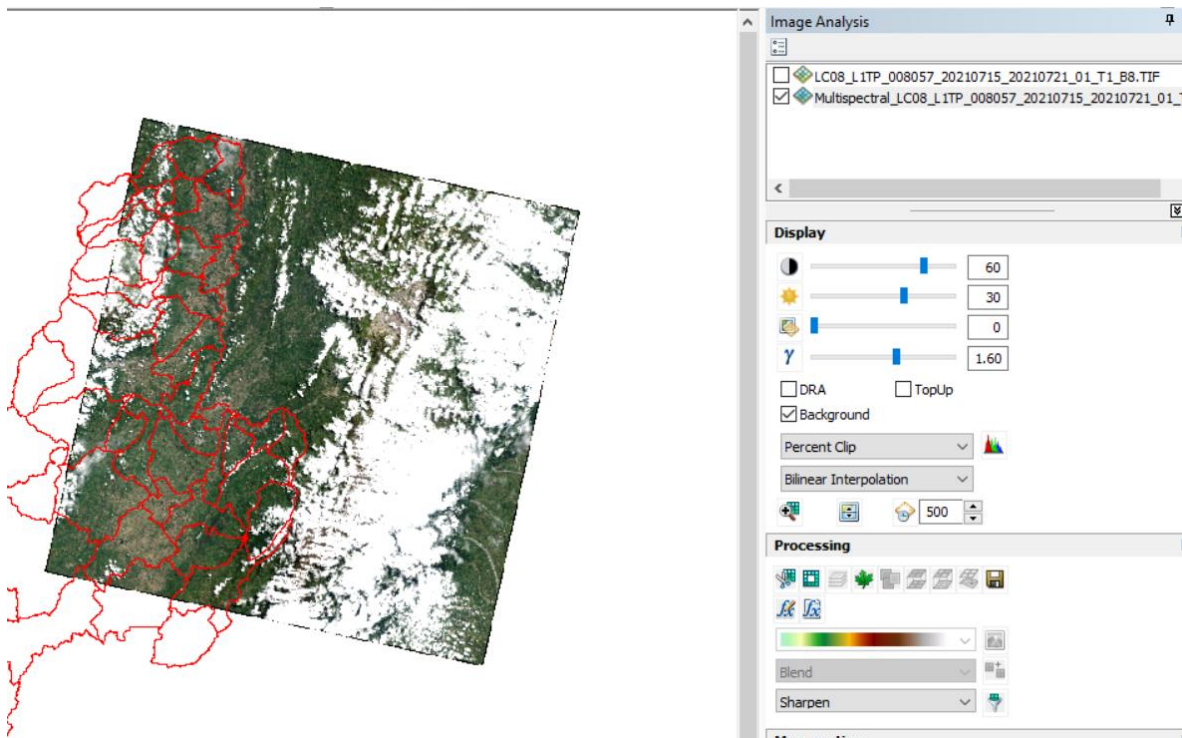
**Ilustración 20.** Cuando se realiza el llamado de las imágenes descargadas de Landsat 8 con el archivo MTL, se logra observar que el sistema de coordenadas es diferente al de los leyers de estudio. Sin embargo, el ajuste automático que posee ArcMap



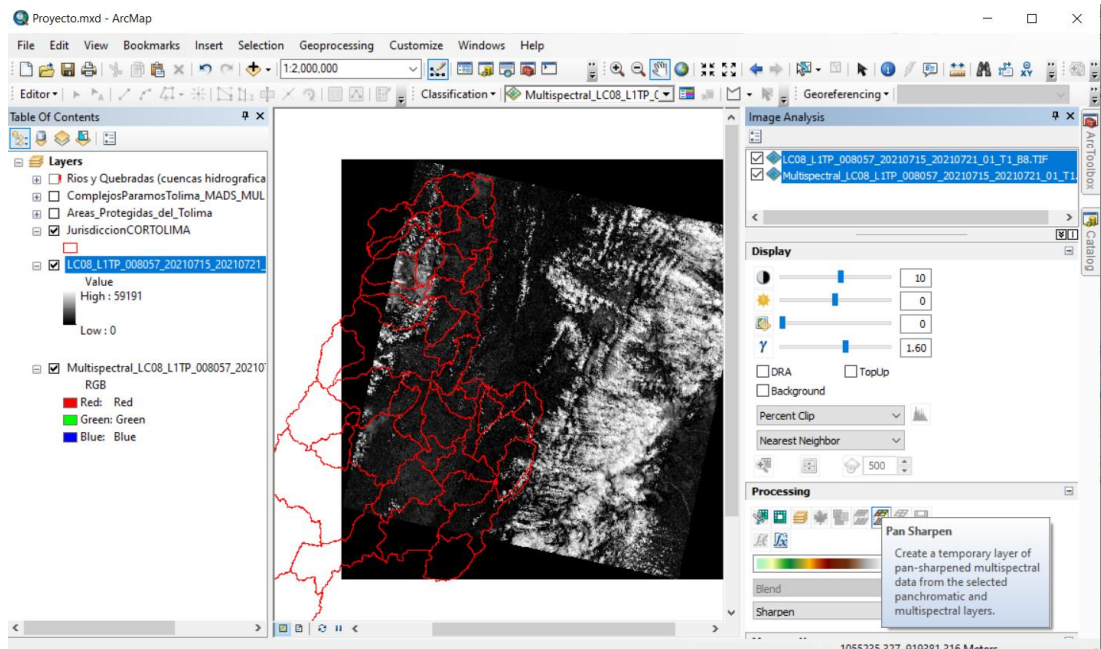
**Ilustración 21.** Observación de una imagen satélite de tipo MTL, en el cual se selecciona en propiedades para eliminar el fondo negro por medio del *Display Background Value*



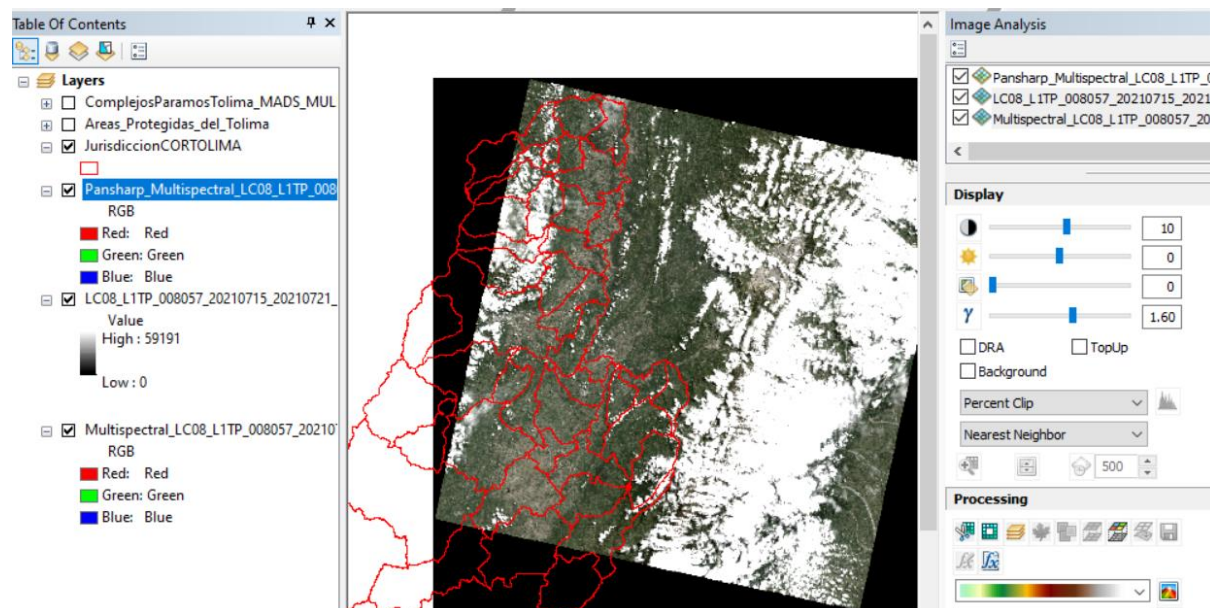
**Ilustración 22.** Observación de una imagen satélite de tipo MTL editada utilizando la herramienta de *Image Analysis*. Para obtener una foto mejorada en brillo y contraste.



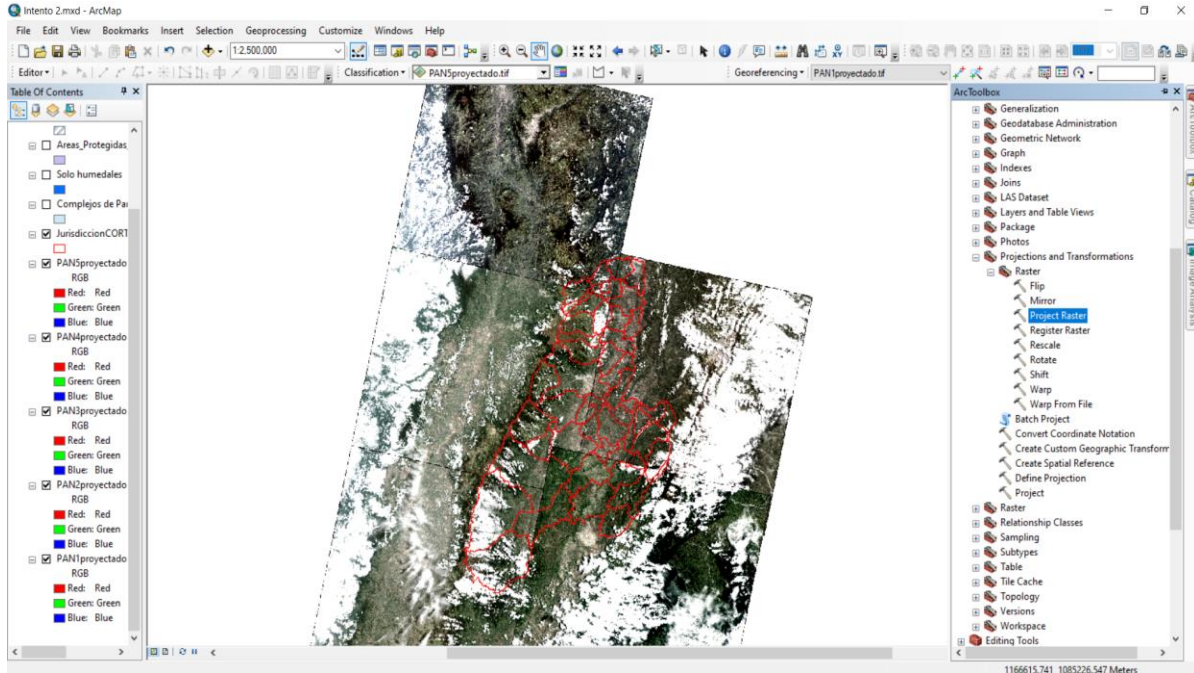
**Ilustración 23.** Observación de una imagen satélite de Landsat 8 pero solamente la banda 8 o banda pancromática. En este caso se realiza un *Pan Sharpen* con la banda pancromática y la imagen de tipo MTL, esto se realiza utilizando la herramienta de *Image Analysis*. Para obtener una foto mejorada en brillo y contraste. Este proceso se realiza con cada una de las imágenes descargadas del Landsat 8



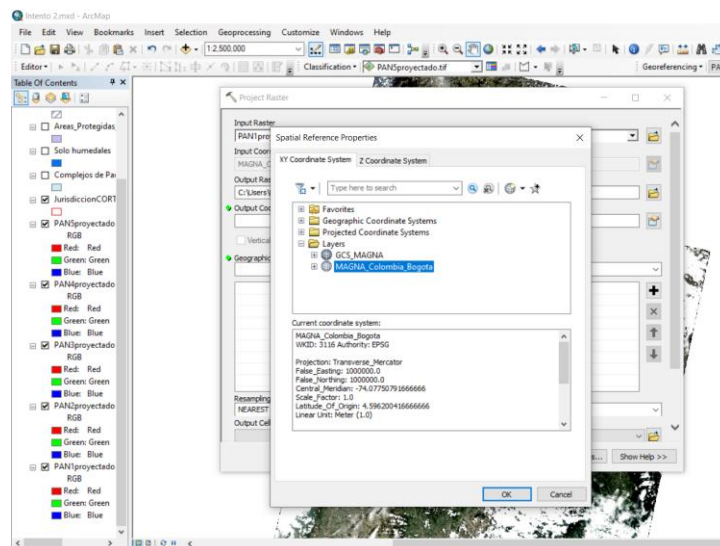
**Ilustración 24.** Imagen generada después del proceso de Pan sharpen entre una imagen de MTL y Banda pancromática de Landsat 8. Se utilizó la herramienta de *Image Analysis* para obtener una foto mejorada en brillo y contraste.



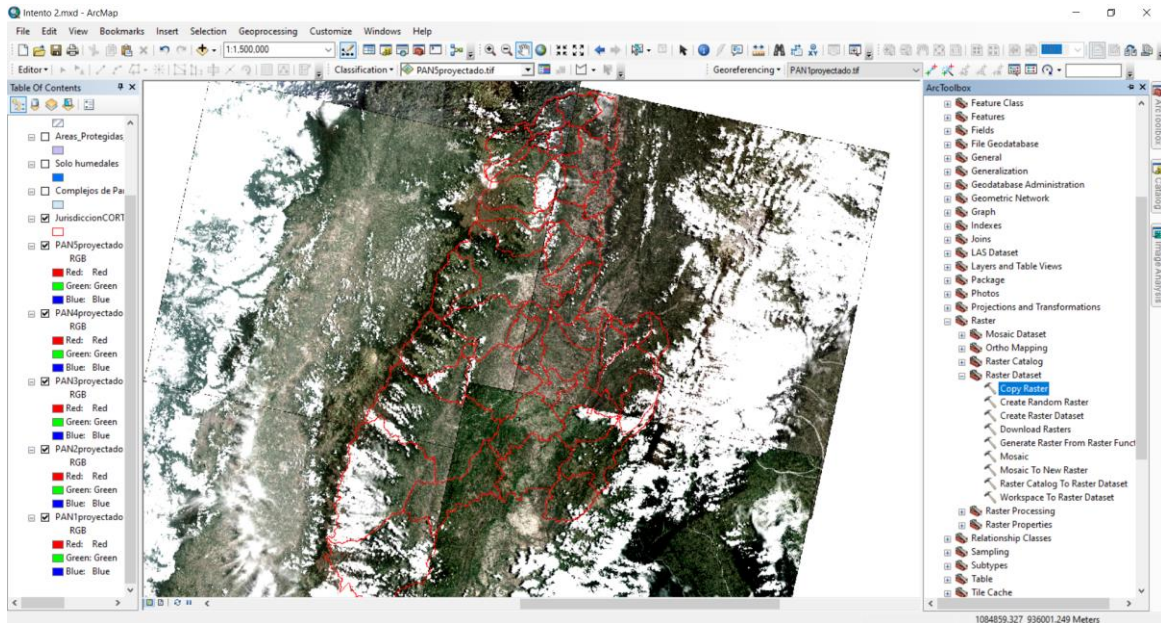
**Ilustración 25.** Una vez se han realizado el pan sharpen de todas las imágenes, se debe realizar el cambio de sistema de coordenadas de las imágenes al sistema de coordenadas del layer para lograr un mosaico. Para lograrlo se utilizó la herramienta de ArcToolbox y en “data management tools”, Projections and transformatis, Raster y Project raster,



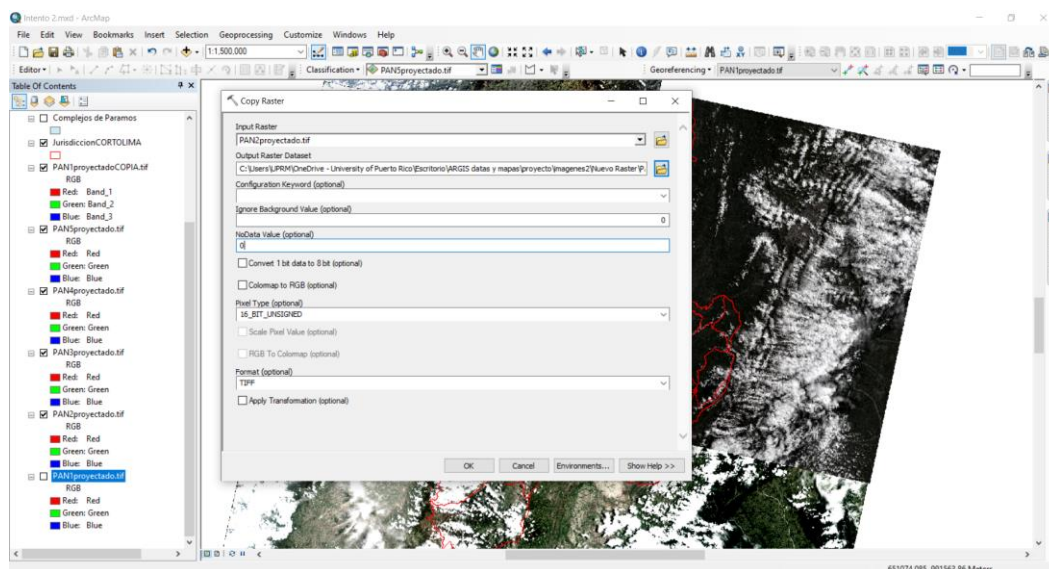
**Ilustración 26** Continuando con el cambio de sistema de coordenadas de las imágenes al sistema de coordenadas del layer para lograr un mosaico (Ilustración 25), se ingresa la información de que imagen se quiere proyectar se puede seleccionar Spatial reference properties y se selecciona a que sistema de coordenadas se desea realizar la proyección, para este ejercicio se seleccionó el del layer de jurisdicción que tenía una proyección de sistema de coordenadas MAGNA\_Colombia\_Bogota.



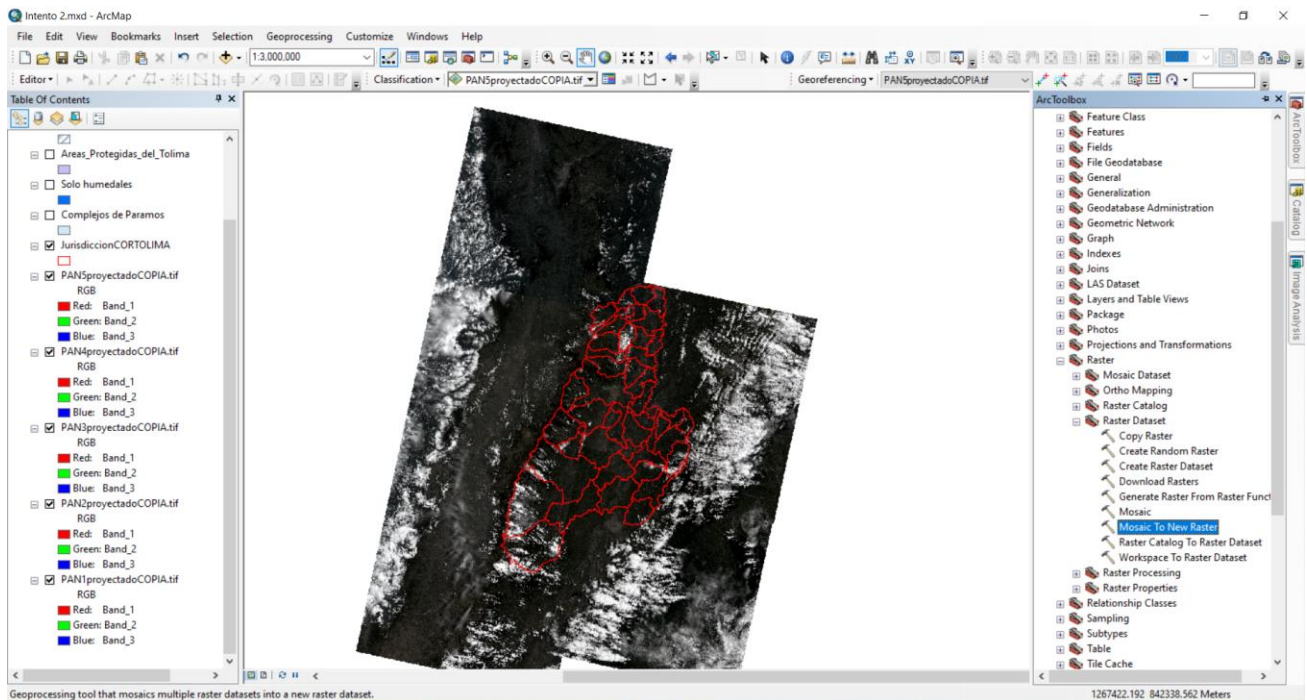
**Ilustración 27.** Para lograr el Mosaico de imágenes se deben organizar lo mejor posible para evitar las nubes, se debe tener en cuenta que como se organizan las imágenes así quedara el mosaico. Por lo tanto, después de realizado la proyección, en la misma sección de la herramienta de ArcToolbox y en “data management tools”, se selecciona en Raster, la opción de Raster dataset y Copy raster. Se debe tener copia de todas las imágenes antes de realizar el Mosaico.



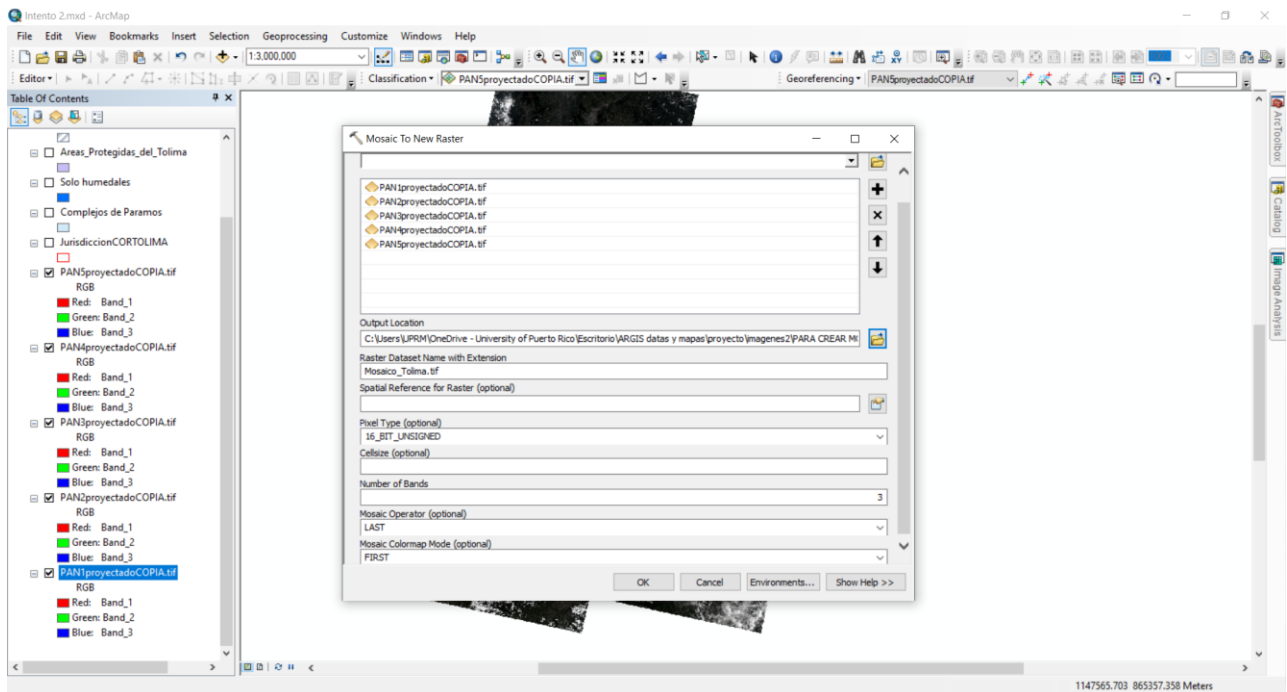
**Ilustración 28.** Para continuar con el proceso (Ilustración 27) una vez se habilite la ventana se debe realizar la selección de imagen. Es indispensable ignorar los datos de background que posee las imágenes, y para ello se debe poner “0” al igual que en No Data Value. Por último, debido que las imágenes se seleccionaron de landsat 8, se puede seleccionar que el tipo de píxel es 16 Bits unsigned.



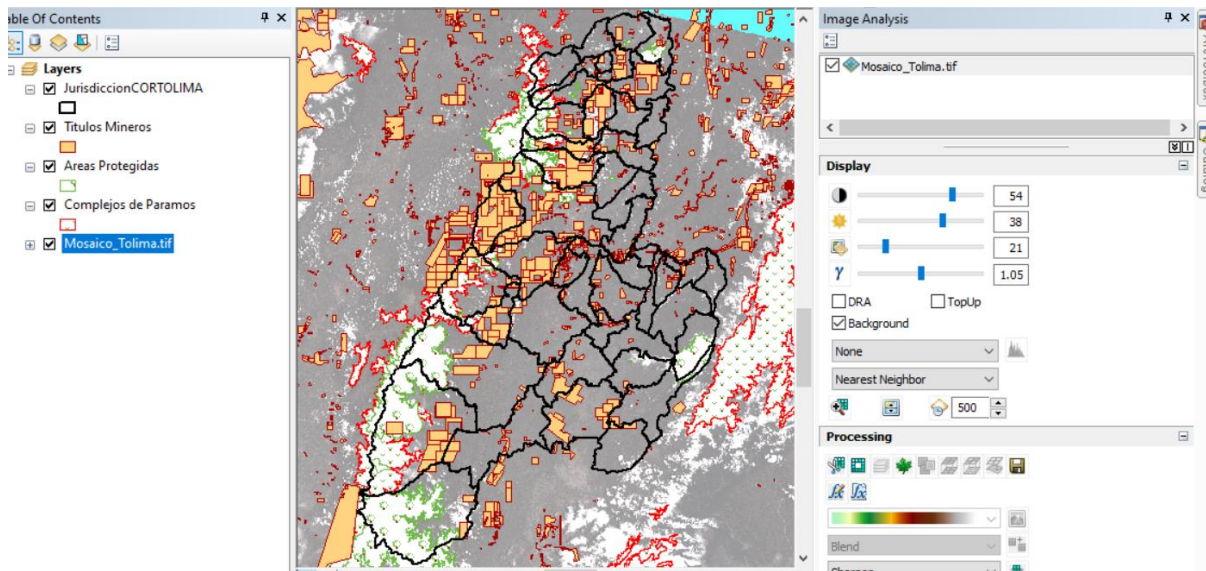
**Ilustración 29.** Una vez que finaliza el proceso, nuevamente se utiliza la herramienta de ArcToolbox y en “data management tools”, se selecciona en Raster, la opción de Raster dataset y Mosaic to new ráster.



**Ilustración 30 ,** en la ventana de Mosaic to new ráster se seleccionara todas las imágenes que se desean para crear el mosaico y se mantiene 16 píxel.



**Ilustración 31.** Una vez se tiene el mosaico de imágenes se sobreponen las capas de información de áreas protegidas, complejos de paramos y títulos Mineros, Para este ejercicio el layer de títulos mineros no necesita transformación el ajuste automático de ArcMap es suficiente. Sin embargo, debido a la cantidad de elementos se busca una armonía y por ello se procede a realizar un ajuste de transparencia para el mosaico por medio de la herramienta de Image Analysis.



**Ilustración 32.** Para finalizar se inserta de elementos importantes para un mapa como título, escala, leyenda y graticula.

