UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE AMBIENTAL

DENOMINACIÓN DEL TITULO A OBTENER:

INGENIERA(O) AMBIENTAL

TEMA: ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL POR LA ACTIVIDAD MINERA EN LA COMUNIDAD COSTA AZUL, CANTÓN CARLOS JULIO AROSEMENA TOLA

AUTORES:

KELLY MAYTHE ANDRADE SANTANDER

XIMENA PILAR BALLIN SHIGUANGO

DIRECTOR DEL PROYECTO:

Msc. DE DECKER MARIA KATHARINA ELISABETH

PUYO-ECUADOR

2020

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo investigativo se lo agradecemos primeramente a Dios. Por ser nuestra compañía en esta trayectoria académica, permitiendo cada día superarnos y llegar a cumplir nuevas metas trazadas.

A la Universidad Estatal Amazónica por habernos permitido ser parte de ella, cursar una larga trayectoria bajo las normas de la misma y cobijarnos con el apoyo dentro de la carrera y desarrollarnos con grandes expectativas en conocimiento.

A nuestros padres por ser el pilar fundamental en nuestros hogares, con amor, paciencia y sacrificio. Gracias a ustedes hemos alcanzado cada logro, llenos de orgullo por tenerlos como apoyo y ejemplo de superación.

De manera especial a nuestra Directora de Proyecto Msc. María de Decker, quien nos ha guiado durante este proceso, por su confianza, apoyo incondicional y experiencia, la misma que nos ha permitido culminar exitosamente.

DEDICATORIA

A Dios por guiarme siempre por el buen camino, darme vida y salud para seguir superándome, siendo mi gran fortaleza.

A mis padres, FABIAN ANDRADE SANCHEZ Y ANA SANTANDER AGUILAR por su apoyo incondicional y sacrificio, gracias a ustedes he logrado trazarme esta nueva meta y poderla cumplir.

A mi hijo, MATHEO HURTADO ANDRADE por su comprensión, paciencia y apoyo durante este proceso universitario.

De manera muy especial dedicar a mi Tutora Msc. María de Decker, quien me ha guiado durante el aprendizaje académico con sus conocimientos y experiencia

A todos los maestros que en cada semestre han sido parte fundamental de la formación académica ya que con sus consejos, paciencia y enseñanzas han aportado en beneficio de la comunidad estudiantil.

Andrade Santander Kelly Maythe

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de vivir con salud y humildad para así cumplir mis objetivos.

A mi madre GLORIA SIREINA SHIGUANGO GREFA por ser fundamental a lo largo de mi vida y mi carrera universitaria, por demostrarme siempre su apoyo y comprensión pese a los problemas e inconvenientes que se han presentado, por sus consejos, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y más que nada por su amor infinito.

A todos los maestros de la universidad por su tiempo, su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional, en especial a mi Tutora Msc. María de Decker por abrirme las puertas y compartir sus conocimientos, haciendo posible que se realice este trabajo con éxito.

A la Universidad Estatal Amazónica y en especial a la Facultad Ciencias de la Vida por darme la oportunidad de formar parte de ella.

Finalmente quiero dedicar a mis amigas por apoyarme en momentos difíciles y por la confianza brindada, por tal motivo siempre las llevo en mi corazón.

Ballin Shiguango Ximena Pilar

RESUMEN

Los cambios progresivos en la cobertura vegetal y uso de suelo en la Amazonia ecuatoriana han mostrado importancia en el ámbito ambiental, durante muchos años se ha venido desarrollando la minera de oro como actividad principal en la zona con el fin de mejorar la calidad de vida de sus familias, trayendo consigo una serie de problemas ambientales, sociales, políticos y de carácter irremediable a la salud de obreros y moradores cercanos. En este contexto una de las comunidades

más golpeadas por esta actividad y sus efectos es la comunidad Costa Azul, cantón Carlos Julio Arosemena Tola. Por esta razón se escogió esta zona con el objetivo de analizar los cambios en la cobertura vegetal por la actividad minera. En cuanto al procedimiento metodológico se utilizó imágenes de los satélites Landsat en el año 2013 y Sentinel-2 en los años 2017 y 2020 a través de la clasificación supervisada y no supervisada respectivamente, con la ejecución de programas como ArcGIS, IDRISI y Excel. Los cambios de cobertura vegetal de los tres periodos resultaron que la clase bosque tiene una tasa de deforestación de 13,76% con una pérdida de 383,80 ha anualmente. La predicción al año 2030 se encontró que la clase Mosaico agropecuario tiene el cambio más alto ya que aumentó la superficie en un 28,7% 2952,84 ha con una pérdida de superficie de 996,56 ha.

Palabras Clave: Minería de oro, Cambio de cobertura vegetal, Imágenes satelitales, Deforestación.

ABSTRACT

Progressive changes in vegetation cover and land use in the Ecuadorian Amazon have shown importance in the environmental field, for many years gold mining has been developed as the main activity in the area in order to improve the quality of life of the families, bringing with them a series of environmental, social, political and irremediable problems to the health of workers and nearby residents. In this context, one of the most affected communities by this activity and its effects is the Costa Azul community, Carlos Julio Arosemena Tola canton. For this reason, this area was chosen in order to analyze the changes in vegetation cover due to mining activity. Regarding the methodological procedure, images from the Landsat satellites in 2013 and Sentinel-2 in 2017 and 2020 were used through the supervised and unsupervised classification respectively, with the execution of programs such as ArcGIS, IDRISI and Excel. The changes in vegetation cover of the three periods resulted in the forest class having a deforestation rate of 13.76% with a loss of 383.80 ha annually. The prediction to the year 2030 found that the agricultural Mosaic class will have the highest change since it increased the area by 28.7% (2952.84 ha) with a loss of area of 996.56 ha.

TABLA DE CONTENIDOS

Capítulo 1 : Introducción……..1

1.1 Planteamiento del Problema……2
1.2 Objetivos……..……2
1.3 Justificación…….…….3-4

Capítulo 2 : fundamentación teórica……..……5

2.1. Minería de Oro……..……..5

2.2. Extracción a Cielo Abierto…….…..……6

2.3. Cobertura Vegetal……..……6

2.4. Cambios En El Uso De Suelo Y Cobertura Vegetal 6

2.5. Sistema De Información Geográfica (S.I.G) 7

2.6. Teledetección: 7

2.7. Sentinel…….....…….……8

2.8. Landsat…….....……..9

2.9 Landsat 8.....9

2.10. Imágenes Satelitales…….....10

2.11. Clasificación De Imágenes…….....11

2.12. Calificación Supervisada…….....11

2.13. Modelamiento Espacial……..12

Capítulo 3: Metodología De La Investigación……..……...13

3.1 Localización……...13

3.2 Tipo De Investigación……14

3.3 Métodos De Investigación …….15

Capítulo 4: Análisis de Resultados……..…….25

Conclusiones y Recomendaciones…….……..38-39

Referencias……...40-45

Índice de tablas

Tabla 1. Listado de bandas de los sensores Sentinel 2……...8

Tabla 2. Distribución de las bandas OLI y TIRS……..10

Tabla 3. Clasificación de las leyendas jerárquicas para el cambio de uso de suelo y vegetación…….…23

Tabla 4. Indicadores detallados en la columna Cambio2_leyenda……...24

Tabla 5. Imagen Satelital Landsat 8……..25

Tabla 6. Imagen Satelital Sentinel…….26

Tabla 7. Tipos de cobertura, identificados en la Comunidad Costa Azul…….27

Tabla 8. Áreas en hectáreas por clases dentro de la comunidad Costa Azul en los tres periodos……..32

Tabla 9. Cambios en cada clase en superficie……...37

Tabla 10. Cambios en cada clase en porcentaje……...37

Índice de figuras

Figura 1. Espectro electromagnético……..7

Figura 2. Proceso de clasificación supervisada……..11

Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio……14

Figura 4. Diagrama de procesos de imágenes satelitales de los tres periodos……15

Figura 5. Mapa de Identificación de los tipos de cobertura en Google Earth Pro……..18

Figura 6. Clasificación supervisada aplicada en la comunidad Costa Azul, año 2013……...29

Figura 7. Clasificacion no supervisada aplicada en la comunidad Costa Azul, año 2017….30

Figura 8. Clasificacion no supervisada aplicada en la comunidad Costa Azul, año 2020….31

Figura 9. Mapa de la comunidad Costa Azul y cambios generados para el año 2030……38

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación de deforestación estimada de la cobertura vegetal……..22

Capítulo 1: Introducción

1.1. Planteamiento del Problema

La minería es una de las actividades económicas más antigua en la historia de la humanidad (Cano, 2012). En la comunidad Costa Azul se han generado cambios muy significativos en el desarrollo de esta actividad, y por ende la geografía y estructura boscosa ha presentado múltiples cambios. Antiguamente la comunidad Costa Azul poseía bosques llenos de árboles emergentes, ríos cristalinos, flora y fauna exuberante, por otro lado, las actividades principales de los habitantes como la agricultura, la ganadería y en menor escala la pesca, fueron reemplazadas por la extracción de oro, con la finalidad de obtener un ingreso mayor, produciendo efectos negativos por la utilización de mercurio, un metal altamente contaminante, el mismo que llega hasta las fuentes hídricas afectando absolutamente a toda la fauna y flora que es alcanzada por dicho contaminante, que a su vez es fundamental en la extracción de oro (Weinberg, 2007).

En la comunidad Costa Azul es practicada esta actividad de manera artesanal en menor proporción, dando paso a la pequeña minería con el avance de la tecnología y que con el pasar del tiempo ha ido creciendo y desarrollándose la mediana minería, sin un previo tratamiento por lo que las modificaciones al pasar el tiempo han sido muy notorias (Izurieta, Erazo, Larson & Cronkleton 2014).

Es por ello que en la comunidad Costa Azul se pretende realizar un estudio bajo la siguiente pregunta: ¿Cómo influye la actividad minera en el cambio de la cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul en los periodos 2013, 2017 y 2020?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar el cambio de la cobertura vegetal en los años 2013, 2017 y 2020 por la actividad minera en la comunidad Costa Azul, Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Identificar los tipos de cobertura del suelo en la comunidad Costa Azul.
2. Cuantificar los cambios de la cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul.
3. Proyectar el cambio de cobertura vegetal hasta el año 2030.

1.3. Justificación

Las actividades que diariamente los seres humanos realizan, con el objetivo de satisfacer sus necesidades han generado grandes cambios al planeta tierra, perjudicando el medio ambiente con una serie de problemas como la deforestación, contaminación, perdida de hábitats, entre otros identificados como amenazas y antecedentes importantes que desestabilizan a los seres bióticos y abióticos (Oyarzun et al., 2011).

A nivel mundial se han realizado un sin número de estudios sobre la minería, actividad desarrollada por aproximadamente 10 y 15 millones de personas, siendo practicada por más de 70 países, lo cual de manera directa e indirecta ha generado empleos, especialmente en los sectores más vulnerables y pobres con un notable deterioro en la calidad de los recursos (Gutiérrez & Miranda, 2015).

Los países Sudamericanos en el 2009 se desarrollaban en la actividad minera de todos los metales y minerales que se producían en el mundo, de manera especial el cobre, hierro, plata, oro, plomo, níquel, estaño, litio, yodo y carbón. Puesto que Perú era el primer productor de plata y el quinto en la producción de oro, Chile primer productor de cobre, Brasil primer productor de niobio y Bolivia primer productor de antimonio, activando la importancia de los minerales dentro de la economía de dichos países, que eran medidos mediante tres indicadores, entre estos; la contribución del PIB, producto interno bruto, posteriormente, mediante las exportaciones y la contribución de empleo (Gustavo & Peters, 2010).

Históricamente en Ecuador en las provincias de Manabí y Esmeraldas en la década de los 80 empezaron a realizar varios estudios geológicos, estableciendo el inicio de la actividad minera, particularmente de oro, presentándose de la misma manera en la cordillera Oriental y Andina concesionando seis proyectos importantes de carácter privado como Fruta del Norte, Mirador, San Carlos, Rio Blanco, Llurimahua y Panantza a cargo de la empresa Lam Gold (Toapanta, 2017).

Establecidos los seis proyectos como estrategias que avizoraban para el año 2023 una importante inversión de 8.362 millones de dólares, lo cual generarían 30.000 empleos directos e indirectos, sumando las exportaciones como una nueva estrategia para la obtención de ingresos que serían destinados para ayuda social, vivienda, construcción de vías, entre otros (SENPLADES, 2017).

Estrategia que el año 2005 habría iniciado con exportaciones desde 4.933 kilogramos de oro, generando un valor de 17.358.576 dólares, con un precio unitario por cada kilogramo de 3.519 dólares, elevando sus ingresos y exportaciones en el transcurso del tiempo de tal modo que para el año 2014 las exportaciones de oro alcanzaron su máximo nivel con 28.573 kilogramos equivalentes a más de 1´000 millones de dólares como ingresos al país (BCE, 2017).

La minería de oro ha generado considerables impactos, entre estos los más graves se han presentado en la fauna acuática, terrestre, y pequeñas herbáceas del lugar, por la utilización de mercurio, metales pesados y cianuros que son descargados directamente a los ríos, causando la extinción de toda forma de vida. Es importante mencionar que la adición de metales pesados al líquido vital ha provocado que los habitantes cercanos no puedan usar y consumir el agua, que es tan necesaria y que con el pasar del tiempo la situación es cada vez más crítica (Sandoval, 2001).

Vázquez, Leifsen y Delgado (2017) manifiestan que en el año 1950 se empezaba a colonizar la selva oriental con los primeros asentamientos de las poblaciones indígenas que mantenían actividades ligadas a la ganadería, agricultura, caza y pesca. En 1990 la empresa minera ECSA empezó sus labores con la extracción de cobre a gran escala para posteriormente iniciar con las operaciones de oro y plata. Con la llegada de mestizos y la unión con los indígenas, fortalecieron las actividades extractivas y dejaron de lado las actividades cotidianas, contribuyendo a la afectación de territorios indígenas y de su salud con cifras que van desde el 15,6 % hasta el 18,4 % representando cambios naturales esenciales en la tierra, bosques y agua Sánchez, Espinoza y Eguiguren (2016).

Por lo tanto, este proyecto analizó los cambios de cobertura vegetal por la actividad minera que ha tenido la zona de estudio en la comunidad Costa Azul, en las riberas del río durante los periodos 2013, 2017 y 2020.

Capítulo 2: Fundamentación teórica

2.1 Minería

Existen distintas formas de clasificar las actividades mineras. Por sus propiedades físicas, químicas y usos se clasifican en minería metálica, las mismas que utiliza altas temperaturas para su fundición, dividiéndose en ferroso (hierro) y no ferrosos (estaño, zinc, plomo y aluminio) (Bustamante & Ponce, 2010). Otra subclasificación es la minería de materiales preciosos como oro, plata e iridio que requieren mucha cantidad de uso del mercurio para la obtención de apenas un gramo, sin embargo, los precios elevados generan su comercialización y una gratificante ganancia (Bustamante & Ponce, 2010).

La minería no metálica se refiere a la de construcción entre estas encontramos arenas, piedras, ripios minería de calizas y arcillas plenamente ligadas con la fabricación de cemento, vidrio por sílice y cerámica. La minería de gemas se refiere a la extracción de piedras preciosas como diamantes y esmeraldas que se encuentran en muy pocos yacimientos. La minería energética ha sido dividida en minería de carbón, utilizada como una fuente de energía y en explotación de petróleo y gas dedicada a la extracción de hidrocarburos (Häberer, 2002).

Por el tipo de labor se dividen en dos clasificaciones; subterráneas que se utiliza cuando el mineral se encuentra a mucha profundidad y a cielo abierto cuando se encuentran cerca de la superficie. Por su producción pueden ser clasificadas en pequeña minería, la misma que tiene una capacidad mínima de 200 toneladas de material diarias o a su vez contienen hasta 10 operarios en ciertos casos trabaja independientemente. La explotación a mediana escala tiene como característica más de 200 toneladas diarias de producción y la minería a gran escala es aquella que genera una producción hasta 75.000 toneladas anualmente (López, 2014).

2.2. Explotación de Oro

La minería de oro es una actividad de carácter extractivo muy antigua y su productividad es evidenciada desde tiempos remotos hasta la actualidad; el oro es uno de los minerales más comercializados siendo extraído a base de mercurio, contaminante con alta capacidad bioacumulable y altamente tóxico que al ser llevado a cabo conjuntamente con un largo proceso finalmente se obtiene una mínima cantidad de oro (J. G. Ramírez & Muñoz, 2012).

2.3. Extracción a Cielo Abierto

La extracción a cielo abierto es aquella que para ser explotado no se requiere excavación previa, en ciertos casos se necesita el uso de explosivos para remover la superficie del terreno, posteriormente la utilización de sustancias toxicas como mercurio, bañan el mineral hasta lograr separarlo y extraerlo (Tamayo, 2014).

2.4 Cobertura Vegetal

Capa vegetativa natural que mantiene biomasa densa que cubre la superficie terrestre con diferentes características fisonómicas y ambientales pudiendo ser desde bosques naturales hasta remanentes de pastizales, por otra parte, los seres humanos han previsto la manera de generar fuentes de empleo, por lo que se han implementado nuevos métodos de implantaciones de coberturas vegetales inducido (Rosero, 2017)**.**

2.5 Cambios en el Uso de Suelo y Cobertura Vegetal

Los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal son las modificaciones que se realizan en un territorio con el paso del tiempo. El cambio de cobertura vegetal puede ser natural, es decir por los diferentes desastres como erosiones, deslaves, inundaciones, entre otros (Rosero, 2018). También de origen antrópico por las interacciones humanas para satisfacer su necesidades, construyendo viviendas, pequeñas y grandes urbes, agricultura, ganadería, entre otras que a diario se presentan afectando a varios factores que contribuyen a una alta tasa de deforestación y degradación ambiental Rosete, Pérez y Bocco (2007).

2.6 Sistema de Información Geográfica (SIG)

Es un sistema compuesto por un conjunto de herramientas informáticas como hardware y software, con procedimientos diseñados a capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y presentar datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación, gestión y proyección (Bravo, 2000).

2.7 Teledetección

La teledetección proporciona un sin número de datos sobre la superficie terrestre, siendo de utilidad para especialistas en diferentes ramas como geología, cartografía, hidrología, meteorología, entre otros (Sobrino, 2001).

La teledetección es la ciencia que conjuntamente con la energía electromagnética, como la luz, el calor y las ondas de radio son el medio para la detección y medición de las características de un objeto en la superficie, sin estar en contacto con el sensor, logrando capturar imágenes desde los sensores instalados en plataformas satelitales que han permitido adquirir imágenes de la superficie terrestre (Cordero & Mora, 2017).

Un ejemplo muy claro se ve reflejado en el color verdoso de las hojas, ya que por la clorofila y otros pigmentos ocurre cierta particularidad que puede ser percibido por el ojo humano, característica de una longitud de onda entre los 0,4 y 0,75 µm (Figura 1) (Sobrino, 2001).

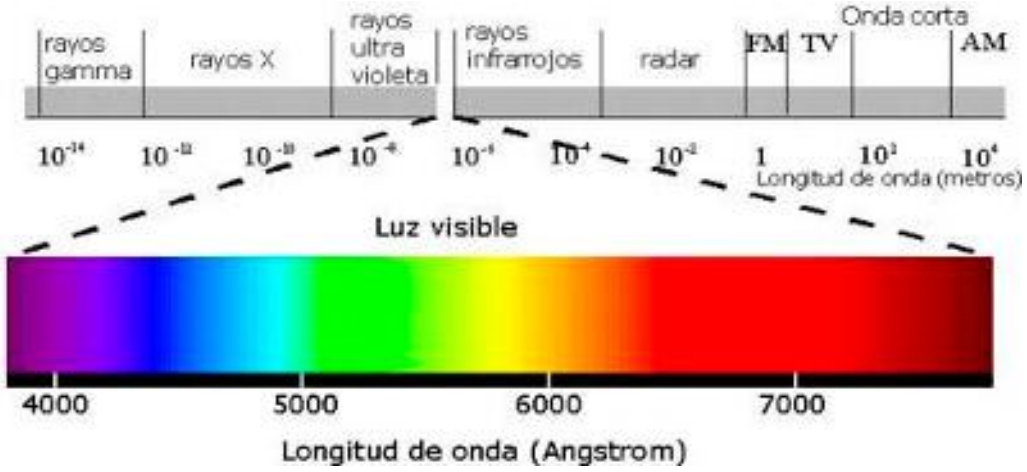


Figura 1. El espectro electromagnético

Fuente: (Sobrino, 2001)

2.8. Sentinel

Satélite que se usa ampliamente para la investigación. Sentinel-2 es un programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) constituido por la misión Sentinel-2A, lanzada el 23 de junio de 2015 y Sentinel-2B lanzada el 7 de marzo de 2017. Es una constelación de monitoreo terrestre con el instrumento multiespectral (MSI) que cuenta con 13 bandas espectrales, las cuales van desde el espectro visible y el infrarrojo cercano (NIR) hasta el infrarrojo de onda corta (SWIR) (Criollo, 2020).

Entre ellas hay cuatro bandas con una resolución espacial de 10 m (tres del visible y una del NIR), seis bandas de 20 m y tres bandas de 60 m, con corrección atmosférica y detección de nubes, presentadas en la Tabla 1 (NaturGis, 2018). Sentinel-2 tiene una gran variedad de beneficios, entre ellos proporciona datos para la generación de productos como: mapas de usos del suelo, mapas de cambios de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo, mapas de riesgo y prevención de desastres. Otros beneficios son las variables biofísicas de la vegetación como la cobertura vegetal, el contenido de clorofila o el contenido de agua en las hojas (Drusch et al., 2012).

La misión Sentinel-2 proporciona continuidad con una vida útil prevista de 7,25 años, durante un período de 20 años. El rango espectral de cobertura de Sentinel-2 está entre 440 y 2300 nm. La combinación de las bandas 4, 3, 2 y 8 se usa para obtener una consideración natural del color (Drusch et al., 2012).

Tabla 1

Listado de bandas de los sensores SENTINEL 2

Banda	Resolución Espacial	Longitud de onda central	Descripción
B1	60 m	443 nm	Ultra azul (Costa y Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Azul
B3	10 m	560 nm	Verde
B4	10 m	665 nm	Rojo
B5	20 m	705 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Rojo de borde (RedEdge)
B9	60 m	940 nm	Vapor de Agua
B10	60 m	1375 nm	Cirrus
B11	20 m	1610 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)

.

Fuente: (NaturGis, 2018)

2.9. Landsat

El primer satélite Landsat fue lanzado en 1972 por la NASA (National Areonautics and Space Administration) para estudiar y supervisar grandes extensiones de tierra interrumpidamente con una resolución temporal de 18 días. En 1975 se dio a conocer el lanzamiento de Landsat 2 que aún era catalogado como un experimento y en 1978 fue lanzado el satélite Landsat 3.

En 1982 el satélite Landsat 4 se acaba de lanzar, siendo diferente porque no llevó RBV (Return-Bean Vidicon), consistía en la instalación de tres cámaras en el sensor ubicado dentro del satélite, utilizadas para las misiones de larga duración permitiendo obtener fotografías con un intervalo espectral de 0,35 y 1,1 μm. En 1984 Landsat 5 fue diseñado y enviado con la similitud de Landsat 4 a diferencia de la implementación importante del Sistema de Escáner (SRA, por sus siglas en ingles) y el Mapeo Temático (Thematic Mapper - TM), diseñado para obtener imágenes con una más alta resolución por separación espectral nítida (Rojas & Valverde, 2010).

Landsat 6 en 1993 despegó de la tierra sin embargo fue un total fracaso ya que no alcanzó a ubicarse en la órbita, dando lugar a la partida de Landsat 7 en 1999, el cual tenía una característica en particular, con un sensor llamado Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), mostrando un radiómetro de barrido multiespectral de 8 bandas detectando la radiación filtrada que se pueden combinar en distintas formas y posiciones, la adición de una banda pancromática, presentando una resolución de 15 m, sin embargo se han registrado varias fallas en dicho satélite, por lo que en 2013 Landsat 8 fue lanzado por primera vez, con características de adquisición de datos multiespectrales con alta resolución (Patiño, 2019).

2.10. Landsat 8

El satélite Landsat 8 fue el último satélite puesto en órbita, denominado (Landsat Data Continuity Mission) o (LCDM), lanzado en el año 2013 con características de sus predecesores y avanzada tecnológicamente cuenta con dos segmentos, sensor OLI (Operational Land Imager) y TIRS (Thermal Infrared Sensor) (Picone, 2017).

Ariza (2013) afirma que el sensor OLI además de ser construido por la empresa Ball Aerospace & Technologies Corporation se caracteriza por tener alta resolución integrado a su sensor apoyado con radiométricas de 16 bits, que revelan una mejora al momento de detectar cambios en la superficie, 30 m de resolución espacial, sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84 y conjugado con 9 bandas, las cuales 5 son visibles y el sensor térmico Infrarrojo (TIRS), construido por la NASA, permite que 4 bandas prescriban en el infrarrojo más cercano, integrados en la (Tabla 2), siendo importante mencionar que pasa cada 16 días por el mismo lugar.

Tabla 2

Distribución de las bandas OLI Y TIRS

	Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
February 11, 2013	*Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Fuente:(Ariza, 2013)

2.11 Imágenes Satelitales

Imagen satelital está definida como una representación visual capturada por un sensor dentro de un satélite, representando la realidad de un área en forma de una matriz de datos, con la particularidad de que cada pixel es una parte o porción de área observada, almacenando con cierta variación sobre la intensidad reflejada. Han presentado múltiples usos y aplicaciones dentro del ambiente, planificación urbana, gestión de cultivos, estudios mineros, análisis de uso y coberturas de suelo, etc. (Becerra & Castillo, 2009).

2.12 Clasificación De Imágenes

La técnica de clasificación de imágenes es ampliamente utilizada en la clasificación de la cobertura del suelo. Además, la clasificación de la cobertura del suelo es importante para la gestión del uso del suelo (Saadat et al., 2011).

2.13 Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada es una técnica de clasificación en la cual el usuario supervisa el proceso de clasificación de píxeles. El usuario especifica los diversos valores de píxeles o firmas espectrales que pueden estar asociados con la clase específica. El proceso de clasificación supervisada comienza seleccionando ubicaciones de muestra de tipos de cobertura del suelo; esto se conoce como sitios / área de verificación Figura 2 (Saadat et al., 2011).

Miranda, Mutiara, Ernastuti & Wibowo (2018) mencionan que el algoritmo de la computadora luego utiliza la firma espectral de esta área de entrenamiento para clasificar la imagen completa. Idealmente, la clase no debería superponerse o debería solaparse ligeramente con otras clases.

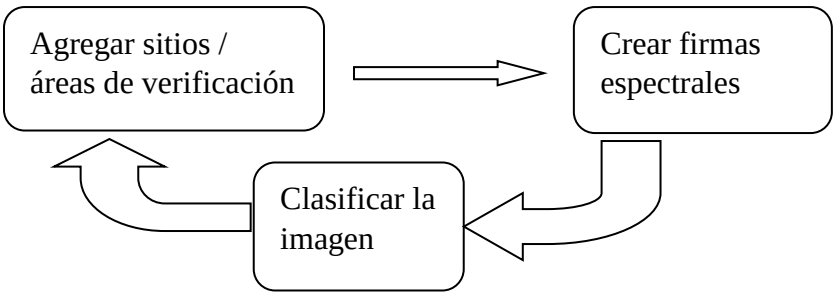


Figura 2. Proceso de la clasificación supervisada
Fuente:(Saadat et al., 2011).

2.14 MODELAMIENTO ESPACIAL

El modelamiento espacial o cartográfico es el conjunto de operaciones de análisis y comandos interactivos representados por mapas que son el punto principal para la toma de decisiones.

Cuando se realiza un modelamiento, está enfocado al proceso, mas no al producto, con las distintas funciones de análisis que el software SIG ofrece, pudiendo también resolver los problemas complejos de carácter espacial produciendo información detallada y nueva (Pascuas, 2001).

Capítulo 3: Metodología de la investigación

3.1 Localización

El área de estudio se encuentra ubicado en la comunidad Costa Azul, Cantón Carlos Julio Arosemena Tola al sur de la provincia de Napo, en la Región Amazónica del Ecuador (RAE). Costa Azul abarca aproximadamente una superficie de 37,56 hectáreas y una población de 150 habitantes en la zona urbana. Consta de un clima tropical lluvioso, variado entre templado y húmedo con una humedad relativa del 90 %, en cuanto a su temperatura promedio oscila entre los 22 °C y 25°C con una altitud de 500 msnm y la precipitación total anual es de 3800 a 4500 mm, razón por la cual la distribución de las lluvias es notablemente homogénea en toda la zona, según el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola (GADMCJAT, 2014).

Posee un bosque húmedo siempreverde piemontano que está conformado de un bosque de 15 a 35 m de altura, su vegetación presenta una cobertura densa de estructura compleja con varios estratos observándose ocasionalmente lianas, según Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2015).

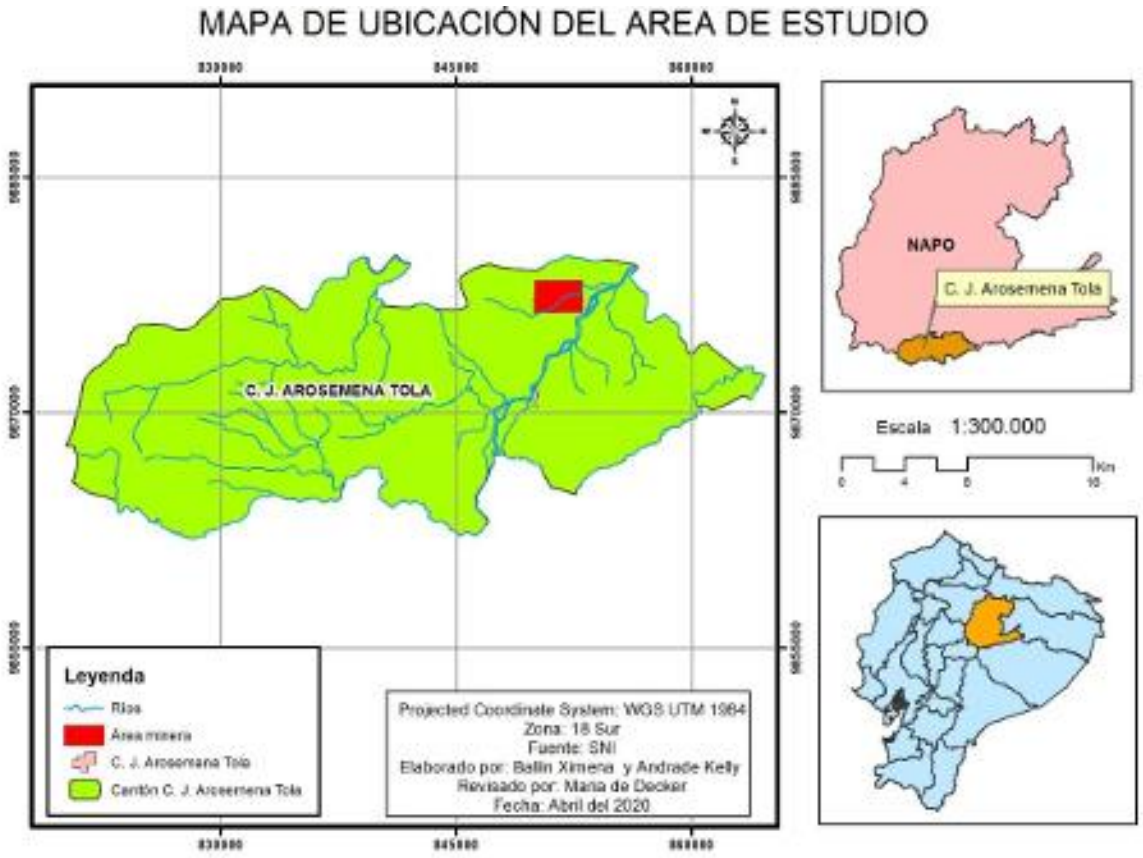


Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio

Fuente: Elaboración propia

3.2 Tipo de investigación

La investigación del presente proyecto es exploratoria debido a que se implementó el uso de programas y herramientas de información geográfica específicamente del área de estudio con el apoyo de las revisiones bibliográficas. También es experimental ya que se trabajó con la variable de imágenes espaciales que se estudiaron el cambio de cobertura vegetal elaborados en la comunidad Costa Azul.

3.3. Métodos de investigación

Para dar solución a los objetivos propuestos en la presente investigación, se describe el respectivo proceso utilizado para su ejecución, con cada uno de los objetivos según la elaboración de la metodología. Para ello se elaboró el siguiente diagrama con las actividades utilizadas en el procesamiento de imágenes satelitales de los tres periodos, presentándose en la Figura 4.

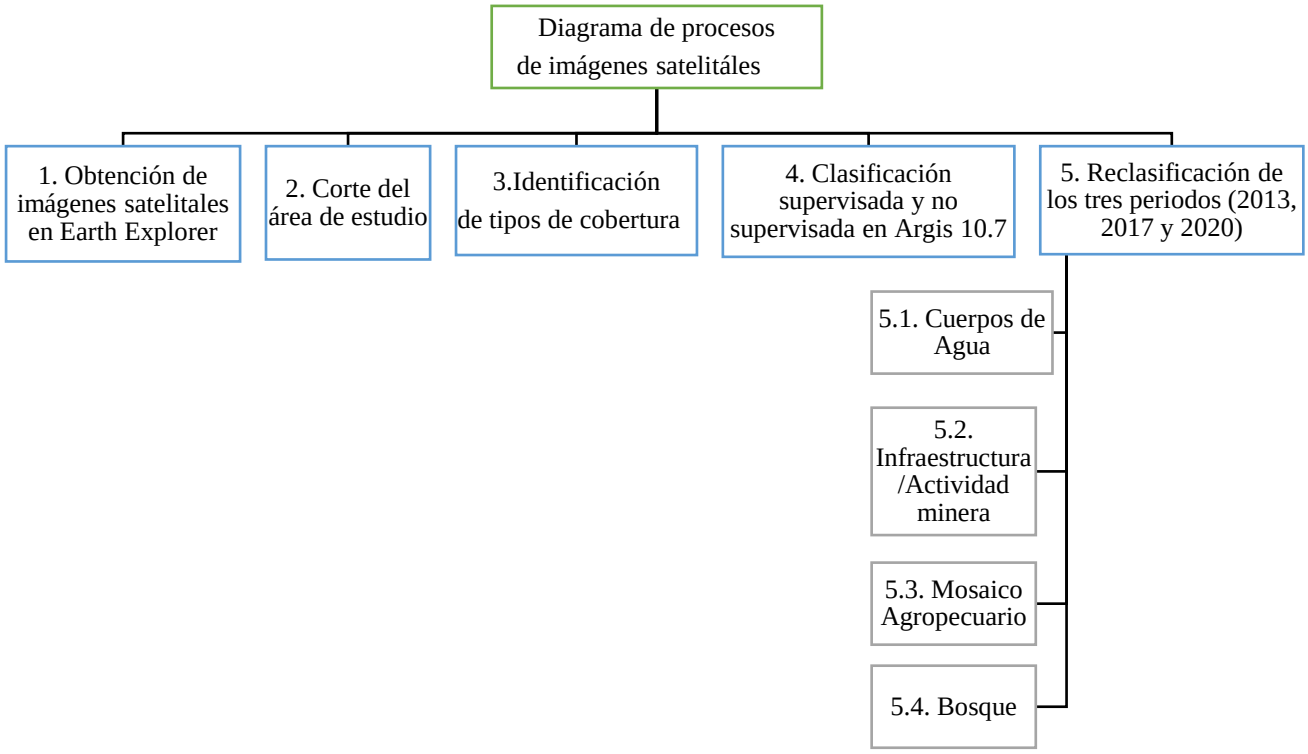


Figura 4. Diagrama de procesos de imágenes satelitales de los tres periodos.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detalla el proceso metodológico de manera individual con cada uno de los objetivos, según la elaboración:

3.3.1. Objetivo 1. Identificar los tipos de cobertura del suelo en la comunidad Costa Azul.

1. Obtención de imágenes satelitales

Para identificar los tipos de cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul se utilizaron las imágenes satelitales de los años 2013 de Landsat, y de los años 2017 y 2020 de Sentinel-2, obtenidas en la plataforma Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/) del USGS (United States Geological Survey).

Procedimiento para la descarga de imágenes satelitales (García, 2019):

P1. Inicialmente se ingresó en criterios de búsqueda el lugar de estudio, para el presente estudio Carlos Julio Arosemena Tola es el lugar más cercano a la zona de estudio, es recomendable seleccionar la opción "características del mundo" antes de seleccionar buscar, puesto que ayuda a encontrar con facilidad el área, posteriormente se llenó las fechas para la búsqueda de la imagen.

P2. Se ingresó en conjunto de datos (Data Sets) para seleccionar el satélite Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1, seguidamente seleccionando la opción de resultados se eligió la imagen con un porcentaje de nubes menor al 10% del 02 de septiembre del año 2013, la misma que cuenta con una resolución espacial de 30 m (Quispe, 2019).

P3. La descarga se realizó en el formato "Level-1 GeoTIFF Data Product (824.78 MiB)" debido a que cuenta con un sistema de coordenadas WGS 1984 UTM zona 18 Sur.

P4. Se obtuvo imágenes de Sentinel -2 del 06 de junio del año 2017 y del 06 de febrero del 2020 en la misma plataforma, la diferencia para esta descarga solo consistió en el cambio de selección de satélite Landsat por Sentinel-2 y las imágenes se descargó en formato "Full Resolution Browse in GeoTIFF format" con resolución espacial de 10 m. La imagen descargada presentó una mínima cantidad de nubosidad por alrededor de la zona, por lo cual fue de gran beneficio porque precisamente en la zona de estudio se encontraba libre de nube.

2. Corte del área de estudio (Costa Azul)

Se ejecutó el corte del área de estudio en las imágenes satelitales obtenidas de Earth Explorer de los años 2013, 2017 y 2020, debido a que las imágenes fueron muy grandes para su posterior clasificación.

Procedimiento para el corte del área de estudio de las tres imágenes del 2013, 2017 y 2020 (Queraltó, 2012):

P1. Se utilizó el programa Arcgis 10.7 en donde se procedió a conectar la carpeta donde se encuentran las imágenes, seguidamente se arrastró la imagen de Landsat 2013 (LC08_L1TP_009061_20130902_201705) para crear un polígono, dibujando un rectángulo para la zona de estudio con la opción *Rectangle* de la barra de herramientas *Draw*.

P2. En la barra de herramientas *Draw* se utilizó la opción *Drawing* / *Convert Graphics To Features;* esta acción permitió convertir el dibujo de un rectángulo en un *Shapefile*.

P3. Con el nuevo *Shapefile* creado se procedió a cortar la imagen, utilizando la herramienta *Extract By Mask (Spatial Analyst)* ya que es una herramienta que permite cortar un archivo en formato *raster* (imagen). Al finalizar se obtuvo una imagen ya extraída la zona de estudio. Este proceso se realizó paso a paso en las tres imágenes en orden según los años de menor a mayor.

3. Identificación de los tipos de cobertura

Una vez obtenido las tres imágenes cortadas se procedió a definir las clases de cobertura vegetal, en este paso generalmente se realiza la identificación de las coberturas con la verificación en el campo de estudio tomando puntos GPS, en nuestro caso no se pudo realizar de tal forma debido a la amenaza de la pandemia "Covid-19" que generó la prohibición a las salida al campo, por tal caso se realizó la identificación utilizando la imagen espacial de Google Earth Pro (Figura 5), visualizar los datos sobre las imágenes de este programa nos permite cumplir con una verificación eficiente de la geolocalización y la asignación adecuada de las coberturas (Ballagh et al., 2011). La identificación de cobertura es primordial puesto que se requiere conocer y estar seguros de ciertas coberturas las cuales nos va ser útil para clasificar los demás pixeles de las imágenes (Capote, 2016). Se identifica cuatro clases: 1) Cuerpos de agua; 2) Actividad minera e Infraestructura; 3) Mosaico agropecuario y 4) Bosque.

1) Cuerpos de Agua: Se identificó por la presencia de la cuenca del río Napo junto con la subcuenca del río Anzu y la microcuenca Chumbiyacu, estos dos últimos se localizan en el Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, comunidad Costa Azul en la zona de estudio (GADMCJAT, 2014).
2) Infraestructura/Actividad minera: Se designó esta categoría debido a la existencia de suelos desnudos, carreteras lastradas y construcciones de viviendas en el área urbana de la comunidad costa azul, las mismas que fueron identificadas en la imagen con un Color Beige.
3) Mosaico Agropecuario: Se determinó por la formación vegetal encontrada, la misma que es originada por intervención humana, con propósito de producción de especies alimenticias de ciclo corto, utilizadas para consumo o comercialización como la guayusa, plátano, yuca, maíz, cacao, frutas etc (GADMCJAT, 2014).
4) Bosque: Se definió esta clase a toda la zona cubierta de bosque natural, en la cual existen gran diversidad de flora y fauna nativa del lugar. Dichos bosques se componen especialmente de especies de uso comercial y potencialmente aprovechables (GADMCJAT, 2014).



Figura 5. Mapa de Identificación de los tipos de cobertura en Google Earth Pro.

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Objetivo 2: Cuantificar los cambios de la cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul.

1. Proceso de Clasificación supervisada y no supervisada en Argis 10.7

Se realizó la clasificación supervisada a la imagen del año 2013 y la clasificación no supervisada a las imágenes de los años 2017 y 2020.

Clasificación supervisada:

Para la clasificación supervisada de la imagen satelital del año 2013 se eligió el área representativa de cada cobertura para adquirir su valor espectral, con la clasificación de pixeles que mostraron los patrones de los diferentes tipos de cobertura vegetal (Castañeda, 2015). Esta clasificación indicó cuáles son las clases temáticas de estudio, la misma que fue realizado forzadamente por las dificultades con la clasificación no supervisada donde arrojó un error en la clasificación de la cobertura cuerpos de agua.

P1. Se utilizó el área y la imagen del 2013 obtenida en el proceso de corte del área de estudio, mediante el comando *Draw Polygon* de la barra de herramientas *Image classification*, se dibujaron polígonos como muestras para cada clase: 11 polígonos de bosque, 5 respectivos a Cuerpos de agua, 13 Mosaico Agropecuario y 6 polígonos de Infraestructura/Actividad minera, se trabajó con un total de 35 polígonos.

P2. Se abrió el comando *Training Sample Manager* para la organización y combinación de los polígonos por cada clase con el comando *Mergue Training Samples*, asignando un color diferente por cada clase.

P3. Se creó una firma espectral de estas muestras con el comando *Create a Signature file*.

P4. En *Classification* se ejecutó *Maximum Likelihood Classification* en donde se abrió una ventana, en *Input raster bands,* por defecto apareció seleccionada la imagen que se utilizó (2013), en *Input signatura file* se ingresó en la carpeta donde se seleccionó la firma espectral de las muestras correspondiente a la imagen del año 2013 creada en el paso P3.

Clasificación no supervisada

P1. Se procedió a clasificar las imágenes de los años 2017 y 2020 con el método de la clasificación no supervisada con la herramienta *Iso cluster unsupervised classification* dentro de la barra de herramientas *Image Classification*.

P2. En *number of classes* se colocó el número de clases identificadas (4) en las imágenes de cada uno de los años 2017 y 2020.

P3. Finalmente se cambió de colores según las clases ya obtenidas: bosque, cuerpo de agua, infraestructura/Actividad minera y Mosaico agropecuario.

2. Reclasificación de los tres periodos (2013, 2017 y 2020)

Tanto la clasificación supervisada como la clasificación no supervisada arrojan el resultado con el orden aleatorio de las diferentes clases. Por esta razón se aplicó la reclasificación para obtener las tres imágenes con el mismo orden de las clases. Según Queraltó (2012) el procedimiento a realizar es el siguiente:

P1. Para la reclasificación se ocupó la herramienta *Reclassify (Spatial Analyst)*, ingresando en la primera fila *Cuerpo de agua*, en la segunda fila *Infraestructura/actividad minera*, en la tercera fila *Mosaico agropecuario* y en la última fila *Bosque*.

P2. Este proceso se repitió para los tres años.

P3. Se determinó el cambio de colores que arrojó por defecto la reclasificación de los tres periodos, se designó para Cuerpo de agua un color azul (Dark Navy), para Infraestructura/Actividad minera un color beige (Medium Sand), para el Mosaico agropecuario un color verde (Macaw Green) y para Bosque un color verde oscuro (Fir Green) para cada imagen en los periodos 2013, 2017 y 2020.

3. Cálculo de área de los años 2013, 2017 y 2020

Para el cálculo de áreas se utilizaron las imágenes finales obtenidas en las clasificaciones supervisadas y no supervisadas en ArcMap aplicando la herramienta *Zonal Geometry as Table* (*Spatial Analyst*), la misma que calcula automáticamente el área multiplicando la cantidad de pixeles por el tamaño de pixeles por cada grupo e informa los resultados en forma de tabla.

Procedimiento para el cálculo de áreas (Xuan, 2016).

P1. Se utilizó la herramienta *Zonal Geometry as Table* (*Spatial Analyst*), la cual genera una nueva columna con la información del área en el archivo Raster. Esta herramienta se aplicó a cada imagen.

P2. Con el comando *Table Options* > *Export Data* se exportó la tabla en formato texto (*Text file*).

P3. El *Text file* generado en el paso P2 se abrió con la ayuda del programa Excel 2016 (seleccionando "Todos los archivos" para que el archivo sea visible), siguiendo los tres pasos del *Asistente para importar texto*: 1. En el primer paso se seleccionó *Siguiente* sin aplicar ningún cambio, 2. En el segundo paso se colocaron vistos (✓) a tabulación, punto y coma, en *Calificador del texto* se dio selección la opción {ninguno}, 3. En el tercer paso se ingresó a la casilla *Avanzadas…* donde apareció una ventana de configuración avanzada de importación de textos en la cual en *separador decimal* se dio selección un punto (.) y en *separador de miles* un coma (,).

P4. Para la importación del *Text file* de los años 2017 y 2020 hubo un pequeño cambio en el último paso de los tres pasos del *Asistente para importar texto*: 1. En el primer paso se seleccionó *Siguiente* sin aplicar ningún cambio, 2. En el segundo paso se colocaron vistos (✓) a tabulación, punto y coma, en *Calificador del texto* se dio selección la opción {ninguno}, 3. En el tercer paso se ingresó a la casilla *Avanzadas…* donde apareció una ventana de configuración avanzada de importación de textos en la cual en *separador decimal* se dio selección un coma (,) y en *separador de miles* no se seleccionó nada ().

P5. Se obtuvo una tabla como resultado de los pasos **P3** y **P4** de la cual se borró las columnas innecesarias y se realizó la transformación de metros a hectáreas (área de la clase/10.000) y a porcentaje (área de la clase/área total * 100) (Reymondin, Paz, Tello, & Perez, 2017). Este proceso se realizó de igual forma para todos los tres años 2013, 2017 y 2020.

P6. Se abrió un nuevo documento Excel donde se realizó una tabla general de los datos calculados de los tres periodos 2013, 2017 y 2020, la misma que se detallará en los resultados de este proyecto.

3.3.3 Objetivo 3: Proyectar el cambio de cobertura vegetal hasta el año 2030

1. Cálculo de la tasa de deforestación de la cobertura vegetal

Para el cálculo de la tasa de deforestación de la cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul se aplicó la "Ecuación utilizada por el Instituto Espacial Ecuatoriano en el estudio de la deforestación del Ecuador continental" (Rosero, 2018, p. 63).

Ecuación 1. Ecuación de la Tasa de la Deforestación Estimada (TDE) de la cobertura vegetal

$$t = \left(\left(1 - \frac{S1}{S2}\right) * \frac{1}{n}\right) * 100$$

Donde:

t= Tasa de deforestación estimada en (%)

S1= Superficie inicial (ha)

S2= Superficie final (ha)

n= Número de años

2. Predicción de la cobertura vegetal al año 2030

Para la predicción de la cobertura vegetal se utilizó la imagen de la clasificación no supervisada del año 2017 y 2020, junto con el software IDRISI selva 17.0 y la aplicación ArcMap 10.7.

Procedimiento para la predicción de la cobertura vegetal al año 2030 (Eastaman, 2001).

P1. Con la ayuda del programa ArcMap, se creó una nueva columna (*Table Options* / *Add Field)* con el nombre *Valor* (*Type: Double)* en la tabla de atributos de las imágenes reclasificadas de los años 2017 y 2020. En la columna *Valor* recién creada, se ingresó el valor del uno al cuatro.

P2. Para poder trabajar con el programa IDRISI, se procedió a convertir el Raster tipo TIFF a Raster tipo IMAGEN image con la función *Data* / *Export Data*.

P3. Se importaron las dos nuevas imágenes con formato IMAGEN image a el programa IDRISI selva 17.0 con la función *Software Specific format>(ERDAS)*. Se ingresó en *GIS Análysis (Database Query)* CROSSTAB, selecciononando la opción *Hard classification*, ingresando la

imagen del año 2020 en *First image (colum)* y la imagen del año 2017 en *Second image (row)*; en *Output Type* se seleccionó *full cross-tabulation table*, con la activación del *Prink Kappa Index of Agreement values per category*. El resultado es una nueva imagen tipo rst con las diferencias en la cobertura vegetal de los años seleccionados.

P4. Se importó el archivo. rst generado en el paso **P3** al programa ArcMap y con la herramienta *Rater To Polygon (Conversion)* se convirtió el Raster a un archivo Vector (Shapefile).

P5. En *Geoprocessing* se utilizó *Dissolve* para resumir los atributos de CAMBIO, con los datos de esta ejecución se exportó con Data (*Export Data*). El resultado de la exportación se utilizó *Joins and Relates* (*Join),* en la carpeta se seleccionó Cambio.ras, en el primer punto se optó por greycode, en el tercero VALUE. En la tabla de atributos de cambio_2 se creó nueva columna Cambio2_leyenda en formato text. Se utilizó *Start Editing* para asignar el indicador o las categorías de acuerdo con el criterio de clasificación de la (Tabla 3). Este procedimiento es indispensable debido a que nos permitió obtener las categorías de coberturas (Tabla 4), las mismas que resultaron plasmadas en el mapa de la predicción 2030.

Tabla 3

Clasificación de las leyendas jerárquicas para el cambio de uso de suelo y vegetación.

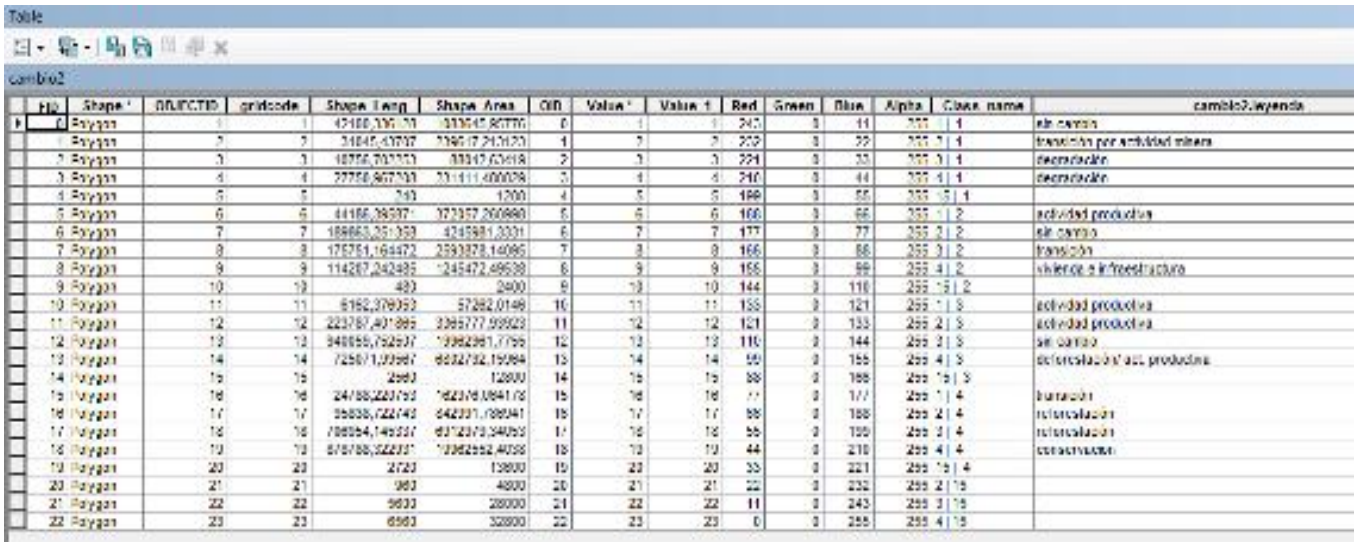
Indicadores	**Características**
Sin Cambio	Mide todo lo relacionado como el manejo antropogénico como (la agricultura y pastizales) que no han cambiado de una época a la otra.
Por actividad productiva	Mide la cantidad de superficie donde antiguamente se ha tenido la agricultura temporal y actualmente tenemos ´pastizales inducidos.
Degradada	Mide las zonas agrícolas y cuerpos de agua que se han convertido en áreas urbanas.
Transición	Mide la cantidad de superficie donde anteriormente se realizaba el (Uso de suelo en cultivos o pastizales inducidos y cultivados) y actualmente se encuentra ocupada por bosque, selva, vegetación hidrófila, matorral y pastizales naturales.
Deforestada	Mide el cambio de uso de suelo que corresponde a zonas de (bosques, selvas, manglares y cuerpos de agua) a zonas agrícolas.

Conservada	Mide el porcentaje de la superficie que no ha sufrido cambios, es decir que del inicio a final la cobertura vegetal se mantiene, se encuentran zonas de (bosques, selvas, manglares y cuerpos de agua).

Fuente: (Ramírez, 2015).

Tabla 4

Indicadores detallados en la columna Cambio2_leyenda.



Fuente: Elaboración propia

P6. Se guardó la tabla de CROSSTAB que se obtuvo del paso **P3** como archivo pdf, se copió la tabla y se pegó en un Bloc de notas. Posteriormente se abrió este archivo con el programa Excel siguiendo los pasos del *Asistente para importar texto*: 1. En el primer paso se seleccionó *Siguiente* sin aplicar ningún cambio, 2. En el segundo paso se colocó visto (✓) en espacios. Se eliminaron la fila y columna de ceros, además de las columnas y filas de total. Se aplicaron las siguientes formulas: (el primer valor de la primera fila multiplicado por 400/ dividido para 10000) y se arrastró los valores de las filas y las columnas. También se calculó el cambio de cada cobertura en porcentajes utilizando la formula = (El valor de cuerpo de Agua /Total de las clases), finalmente arrastramos este valor por las filas y columnas.

Capítulo 4: Análisis de Resultados

En este capítulo se muestran los resultados de los análisis mediante las imágenes de los satélites Landsat 8 y Sentinel -2 para determinar los cambios en la cobertura vegetal por la actividad minera en la comunidad Costa Azul, cantón Carlos Julio Arosemena Tola, dentro de los periodos 2013, 2017 y 2020.

3.1. Objetivo 1. Identificar los tipos de cobertura del suelo en la comunidad Costa Azul

Se obtuvieron las imágenes satelitales dentro de los periodos 2013, 2017 y 2020 de los satélites Landsat 8 y Sentinel -2, que se visualizan en la Tabla 5 y (Tabla 6).

Tabla 5

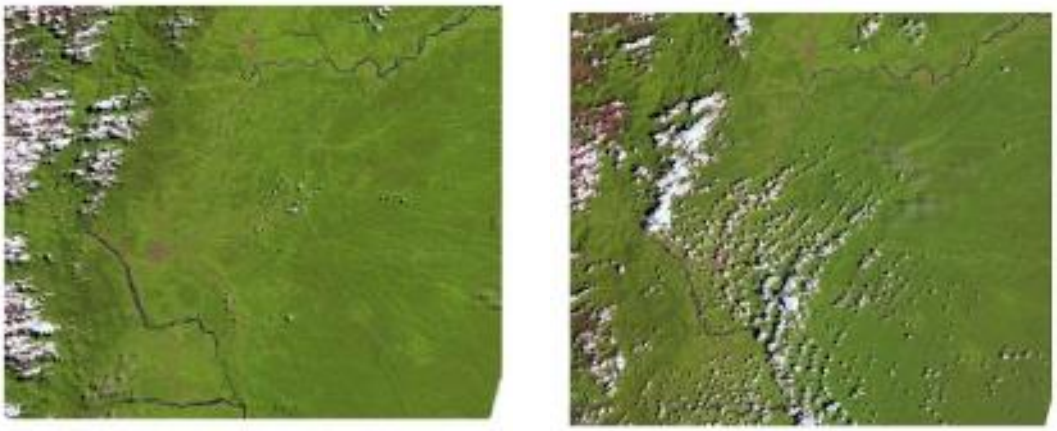
Imagen Satelital Landsat 8

Imagen Satelital Landsat 8 del 02/09/2013


Fuente: USGS - Earth Explorer

Tabla 6

Imágenes satelitales Sentine-2l

Imágenes Satelitales Sentinel -2 con las fechas 06/06/2017 y 06/02/2020


Fuente: USGS - Earth Explorer

2. Identificación de tipos de cobertura

Mediante la observación y análisis de la comunidad Costa Azul, se logró identificar los tipos de cobertura y a la vez comprobar mediante las bandas distintivas mostradas en las imágenes descargadas que se asimilaban a la representación en su geografía (Tabla 7).

Tabla 7

Tipos de cobertura, identificados en la Comunidad Costa Azul

N°	TIPOS DE COBERTURA
1	Cuerpos de Agua
2	Actividad Minera/ Infraestructura
3	Mosaico Agropecuario
4	Bosque

Fuente: Elaboración propia

3.2. Objetivo 2. Cuantificar los cambios de la cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul

Se cuantificó los cambios de cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul, en los periodos 2013, 2017 y 2020, con las imágenes obtenidas de los Satélites Landsat y Sentinel.

Clasificación supervisada

La imagen obtenida del satélite Landsat 8 del año 2013, por sus características espectrales no pudo ser clasificada de manera no supervisada ya que no distinguían los distintos tipos de cobertura y al dar por finalizado el proceso se tomaban distintos valores como una sola clase, lo cual hacía que de tal forma se aprecien valores erróneos, representativos y sujetos al agua. De ante mano se tomó como apoyo de un estudio realizado en Perú por (Cueto, 2020) donde mencionan que debido a la aparición de una de las epidemias más graves que han marcado la historia mundial como es el Ébola de manera catastrófica hubieron muchas muertes y se debieron tomar medidas estrictas, motivo por el cual se redujo la actividad económica que retraso a la ciencia médica y los proyectos de investigaciones de carácter ambiental y social, sugiriendo que se tomaran nuevas alternativas para cumplir con los objetivos trazados de cada individuo.

Por lo que forzadamente se realizó la clasificación supervisada a las imágenes obtenidas desde el satélite Landsat, mostrando resultados favorables en cuanto a la realización de nuestro proyecto. Se lograron identificar según sus colores y acogidos en la recomendación del estudio realizado por González, Calonge y Vehí (2012), donde mencionan que los SIG han ido cambiando de ser programas restringidos a herramientas de uso profesional y científico, por lo que Google Earth Pro ha contribuido y proporcionado con información geográfica adecuada para la exploración de lugares ubicados en distintas zonas del mundo que, pese a que se encuentran poco actualizadas, ha sido de gran apoyo en nuestro estudio para la identificación de los tipos de cobertura existentes, coincidiendo con lo anterior (Tabla 7).

Cobertura vegetal en el año 2013 en la comunidad Costa Azul

La clasificación supervisada del año 2013 se realizó bajo 4 clasificaciones de coberturas de suelo, la mayor presencia de pixeles fueron atribuidos a bosque, caraterizada por el color verde, seguido por una menor cantidad de pixeles en cuanto a la actividad minera e infraestructura representada por el color beige, posteriormente se encontró con una menor cantidad de pixeles al Mosaico agropecuario con un color verde claro y los cuerpos de agua representados por el color azul en la (Figura 6).



Figura 6. Clasificación supervisada aplicada en la comunidad Costa Azul, año 2013.
Fuente: Elaboración propia

Clasificación no supervisada

Las imágenes obtenidas del Satélite Sentinel-2, obtuvieron resultados favorables mediante la clasificación no supervisada desde el principio del proceso y su ejecución fue aplicada de manera rápida, facilitando el tiempo y pronta visualización de los cambios obtenidos durante los periodos en la comunidad Costa Azul.

Cobertura vegetal, año 2017 en la comunidad Costa Azul

La clasificación no supervisada determinó cuatro clases automaticamente, relacionadas al mismo tipo de coberturas previstas anteriormente en la Figura 5 del año 2013, observandose gran incremento en cuanto al suelo desnudo, evidenciandose en la Figura 6 del año 2017, seguidamente y en menor cantidad la actividad minera e infraestructura, el agua con su mismo curso y habiendose reducido la extension de bosque.



Figura 7. Clasificacion no supervisada aplicada en la comunidad Costa Azul, año 2017
Fuente: Elaboración propia

Cobertura vegetal, año 2020 en la comunidad Costa Azul

La clasificación del periodo 2020 muestra dentro de los resultados un incremento mucho mas intenso en cuanto al suelo desnudo, siguientemente la actividad minera e infraestructura que ha avanzado rapidamente, incrementando hasta orillas de los cuerpo de agua y el bosque ha mantenido una reducción en menor proporción, observandose en la (Figura 8).



Figura 8. Clasificacion no supervisada aplicada en la comunidad Costa Azul, año 2020

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de área de los años 2013, 2017 y 2020

Se cuantificó los cambios de cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul, en su periodo de inicio año 2013 y en el transcurso de los años 2017 y 2020, con las imágenes obtenidas de las clasificaciones supervisada y no supervisada, respectivamente (Tabla 8).

Tabla 8

Áreas en hectáreas por clases dentro de la comunidad Costa Azul en los tres periodos

PERIODOS CLASES	**2013 (Ha)**	**%**	**2017(Ha)**	**%**	**2020(Ha)**	**%**	**Total (2013-2020)**	**(%)**
Cuerpos de Agua	79,65	1,16	170,8	2,50	166,88	2,44	**-87,23**	**1,27**
Activ. Minera/Infra	824,67	12,06	874,36	12,80	849,96	12,45	**25,29**	**0,38**
Mosaico Agro.	453,51	6,63	2957,16	43,31	3021,24	44,25	**2567,73**	**37,61**
Bosque	5475,15	80,12	2824,28	41,37	2788,52	40,84	**-2686,63**	**-39,28**
Total	**6832,98**		**6826,6**		**6826,6**			

Fuente: Elaboración propia

En el año 2013 la clase de bosque ocupaba una extensión de 5475,15 ha equivalente al 80,12%, siendo 20486,18 ha el área total de la comunidad Costa Azul. Al haber trascurrido el tiempo de 4 años, esta extensión disminuyó a 2824,28 ha (equivalentes a 41,37%) en el año 2017. En cuanto a Actividades mineras e Infraestructura en el año inicial existía un total de 824,67 ha, equivalentes a un 12,06%, que para el año 2017 incrementaron a una extensión de 874,36 ha equivalentes a un 13,8%, indicando un crecimiento leve de 1,74%.

Las actividades agrícolas y agropecuarias establecidas ya en el lugar en el año 2013 ocupan una extensión de 453,51 ha equivalentes a 6,63%, que para el año 2017 incrementaron considerablemente a una extensión de 2957,16 ha (43,31%), indicando un aumento de 36,68%.

La subcuenca del rio Anzu y la microcuenca Chumbiyacu pertenecientes a la clase cuerpos de agua en el año 2013 representaban una extensión total de 79,65 ha equivalentes a 1,16%, que para el año siguiente de estudio incrementaron a 170,8 ha, es decir (2,5%), como se puede observar en las Figuras 5 y 6. Según el estudio realizado por Duarte, Sergio, Gerardo, Dachs, Montes, Pardo,

Ríos, Simó y Valladares (2006) en España mencionando que la desigual distribución regional presenta cambios en la precipitación indicando un aumento en todo el planeta, razón por la cual consideramos que en nuestra investigación ocurre el incremento de superficie en relación a los cuerpos de agua.

El cambio de cobertura entre 2017 y 2020 pasaron a ser menos evidentes: en el año 2020, la clase Bosque mantenía una extensión de 2788,52 ha (40,84%), anotando una mínima reducción en su extensión en apenas un 0,53% con respecto al año 2017 (41,37%). Las Actividades mineras e Infraestructura también fueron decreciendo, llegando a ocupar una extensión de 849,96 ha (12,45%), con apenas un incremento de 0,39% con respecto al año 2017 (12,06%). Las actividades agrícolas y agropecuarias han modificado la cobertura vegetal, observándose un aumento de 0,94% con una extensión de 3021,24 ha (44,25%) en el año 2020 en comparación de 43,31% en el año 2017. En el caso de los cuerpos de agua debido al calentamiento global y sus consecuencias disminuyó su extensión de 166,88 ha (2,44%) previstos en la Figura 8.

Mediante los cambios generados dentro del periodo 2013-2020 por las diferentes clases, Cuerpos de agua, Actividades mineras e infraestructura, Mosaico agropecuario y Bosque en la comunidad Costa Azul se ha realizado un cálculo de las áreas y su porcentaje, dando como resultado que la clase Bosque finalmente disminuyó su extensión en 2686,63 ha (39,28%), el establecimiento de la Actividades mineras e Infraestructura dentro de la comunidad evidenciaron un incremento en su extensión siendo 25,29 ha (0,38%), la agricultura y ganadería contribuyó a la disminución de la extensión de Bosque y al crecimiento del mismo con una extensión de 2567,73 ha (37,61%). Finalmente, los cuerpos de agua aumentaron su extensión en un -27,83 ha (1,27%).

3.3. Objetivo 3. Proyectar el cambio de cobertura vegetal hasta el año 2030.

A. Cálculo de tasa de deforestación de la cobertura vegetal

Se tomó como base inicial la imagen del año 2013 para el cálculo de la tasa de deforestación de la cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul, aplicados en la clase bosque.

Cálculo de tasa de deforestación de la cobertura vegetal en los periodos 2013, 2017 y 2020

Se aplicó la Ecuación 1 para el análisis y verificación de los cambios generados entre los años posteriores de interés, 2017 y 2020 que han conllevado a una pérdida de cobertura vegetal dentro de la comunidad Costa Azul, tomando como extensión inicial al año 2013.

El cálculo de la tasa de deforestación fue realizado mediante los resultados obtenidos de la clasificación supervisada y no supervisada de las imágenes de los satélites Landsat y Sentinel-2.

Tasa promedio de deforestación en el periodo 2013-2017:

$$t = \left(\left(1 - \frac{5475{,}15}{2824{,}28}\right) * \frac{1}{4}\right) * 100$$

t= -23,46%

Mediante la aplicación de la ecuación se conoció la tasa de deforestación estimada en el periodo 2013-2017, con un -23,46%, es decir que de 5475,15 hectáreas de bosque disminuyó considerable la extensión de dicha clase dentro del primer periodo, llegando a mantener una extensión de 2824,28 ha.

Tasa promedio de deforestación en el periodo 2017-2020:

$$t = \left(\left(1 - \frac{2824{,}28}{2788{,}52}\right) * \frac{1}{3}\right) * 100$$

t= -0,43%

En el periodo 2017-2020 se conoció que se mantenía una extensión de 2824,28 ha, la tasa de deforestación de bosque finalizando el periodo disminuyó en un 0,43%, manteniendo una extensión final de 2788,52 ha.

Tasa promedio de deforestación final en el periodo 2013-2020:

$$t = \left(\left(1 - \frac{5475,15}{2788,52}\right) * \frac{1}{7}\right) * 100$$

t= -13,76%

Se observa que en el primer periodo (2013-2017) fue más intenso el cambio de uso de suelo y perdida de bosque con un -23,46%, para el segundo periodo (2017-2020) disminuyó considerablemente con un -0,43%, obteniendo un total en relación con la tasa promedio de deforestación desde el año 2013 hasta el año de finalización 2020 se encuentra con -13,76% lo que determina que anualmente 383,80 hectáreas han sido deforestadas, ya sea por infraestructura/actividad miera o por actividades agropecuarias.

Al no existir estudios dentro de la comunidad Costa Azul específicamente se compararon los datos del estudio realizado por Castro, Sierra, Camacho y López (2013), mencionando que, en la Amazonia Norte se agrupan 15 cantones de las Provincias de Napo, Orellana, Sucumbíos, entre otras, que se caracterizaron por tener una caída en la tasa de deforestación de -0,61% en el período de 1990-2000, disminuyendo al -0.17 % en el periodo 2000-2008, datos menores a la tasa nacional del -0.52%. A la vez mencionan que es la segunda zona con mayor cobertura de bosque que mantiene una superficie del (80%). Su principal uso del suelo agropecuario son los pastos con el 48% de la superficie agrícola. Sin embargo, los cultivos permanentes como cacao, palma africana y palmito tuvieron una expansión importante entre los periodos 2000 y 2008 que representan el 28% de la superficie. Haciendo mención que en nuestro estudio las actividades agrícolas y la infraestructura al transcurrir el tiempo han tenido un alto incremento mientras que la reducción de los bosques ha sido evidente, puesto que han contribuido al aumento de la tasa de deforestación anual de 13,76% entre 2013 y 2020.

Proyección de la cobertura vegetal al año 2030

Finalmente se realizó la proyección de perdida de cobertura vegetal en el año 2030 con los resultados generados en el análisis multitemporal. En la Tabla 9 se evidencian los cambios de cada clase, resultados obtenidos desde IDRISI Selva, aplicación recomendada y utilizada en el estudio realizado por (Ramírez, 2015) en el Estado de Chiapas en los periodos 1988-2012, mencionando que la clase forestal redujo su extensión considerablemente en el transcurso de 14 años y el uso de suelo agropecuario elevó su extensión rápidamente. En el presente estudio, la superficie actual se observa con el color celeste perteneciente a las clases respectivamente, con el color gris se refleja la perdida de superficie proyectados para el año 2030 en relación con el total, observándose que la clase que ocupa mayor extensión es la de Mosaico Agropecuario con una superficie de 1956,28 ha, que en 10 años ocupará una superficie total de 2952,84 ha (28,7%), plasmado en la Tabla 10, habiendo perdido 996,56 ha. Según el estudio realizado por (Duarte et al., 2006), mencionan que los ecosistemas se ven afectados particularmente por la agricultura, dado que en un estudio realizado en 1950 y 1970 se convirtieron más tierras en tierras de cultivo que entre 1700 y 1850, cambios que se han llevado a cabo para satisfacer la demanda creciente de alimentos, debido al crecimiento poblacional , uso de agua dulce, madera, fibra y combustibles, motivo por el cual la extensión de los bosques se ha ido reduciendo, siendo importante mencionar que otras actividades como las actividades mineras han sido disminuidas a razón de un menor ingreso monetario y mayor inversión en tecnología para la extracción aurífera en el mundo. Lo que se asemeja con el estudio nuestro, ya que la clase Bosque actualmente ocupa una superficie de 1950,72 ha, que en un futuro será de 2819,64 ha (28,6%), con una pérdida de superficie de 868.92 ha. En cuanto a infraestructura y Actividades mineras presenta una superficie actual es de 422,36 ha, que para el año 2030 su extensión será de 873,8 ha (6,2%), con una pérdida de superficie de 451,44 ha. Finalmente, los cuerpos de agua es la clase que menos cambios presentará, ya que actualmente mantienen una extensión de 107,64 ha, y para el año 2030 su extensión será de 170,76 (1,6%), con una pérdida de superficie de 63,12 ha.

Tabla 9:

Cambios en cada clase en superficie

		Cuerpos de agua	Infraestructura	Mosaico Agro	Bosque	Total	Pérdida de Superficie Original
CAPA 2017	Cuerpos de agua	107,64	38,84	5,8	18,48	170,76	63,12
	Infraestructura	25,08	422,36	338,84	87,52	873,8	451,44
	Mosaico	9,56	260,32	1956,28	726,68	2952,84	996,56
	Bosque	24,44	128,04	716,44	1950,72	2819,64	868,92
	Incremento de la superficie	59,08	427,2	1061,08	832,68	6817,04	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Cambios en cada clase en porcentaje

		Capa 2030			
		Cuerpos de agua	Infraestructura	Mosaico	Bosque
CAPA 2017	Cuerpos de agua	1,6%	1,6%	0,2%	0,8%
	Infraestructura	1,1%	6,2%	14,2%	3,7%
	Mosaico	0,4%	10,9%	28,7%	30,5%
	Bosque	1,0%	5,4%	30,1%	28,6%

Fuente: Elaboración propia

Proyección 2030, Comunidad Costa Azul

Para el año 2030, los cambios en la comunidad Costa Azul, presentan varias observaciones a consecuencia de las actividades que se han establecido dentro del lugar, observándose en la Figura 9, donde la conservación se presenta con un color verde turquesa, que de poco a poco ha ido reduciendo su extensión a diferencia del periodo 2020, por consiguiente, la deforestación contiene

un color rojo característico del daño a causa de las actividades productivas, que han ido ganando extensión. Existen zonas degradadas que están representadas por el color café, que se encuentran disminuidas, las viviendas o infraestructuras que se establecen debido a la llegada de nuevas familias y el incremento demográfico está representado de color blanco, observando que existen medianamente en la extensión total de la comunidad Costa Azul, que por ende las actividades productivas se han visto de manera creciente caracterizándolo con un color amarillo, entre estas actividades la minería aurífera ha sido disminuida sin embargo se encuentra en un estado de transición. La toma de conciencia por los comuneros ha sido favorable ya que se ha establecido la reforestación pudiéndose observar con intensidad y a la vez las zonas que han sido favorecidas y no presentan ningún cambio.

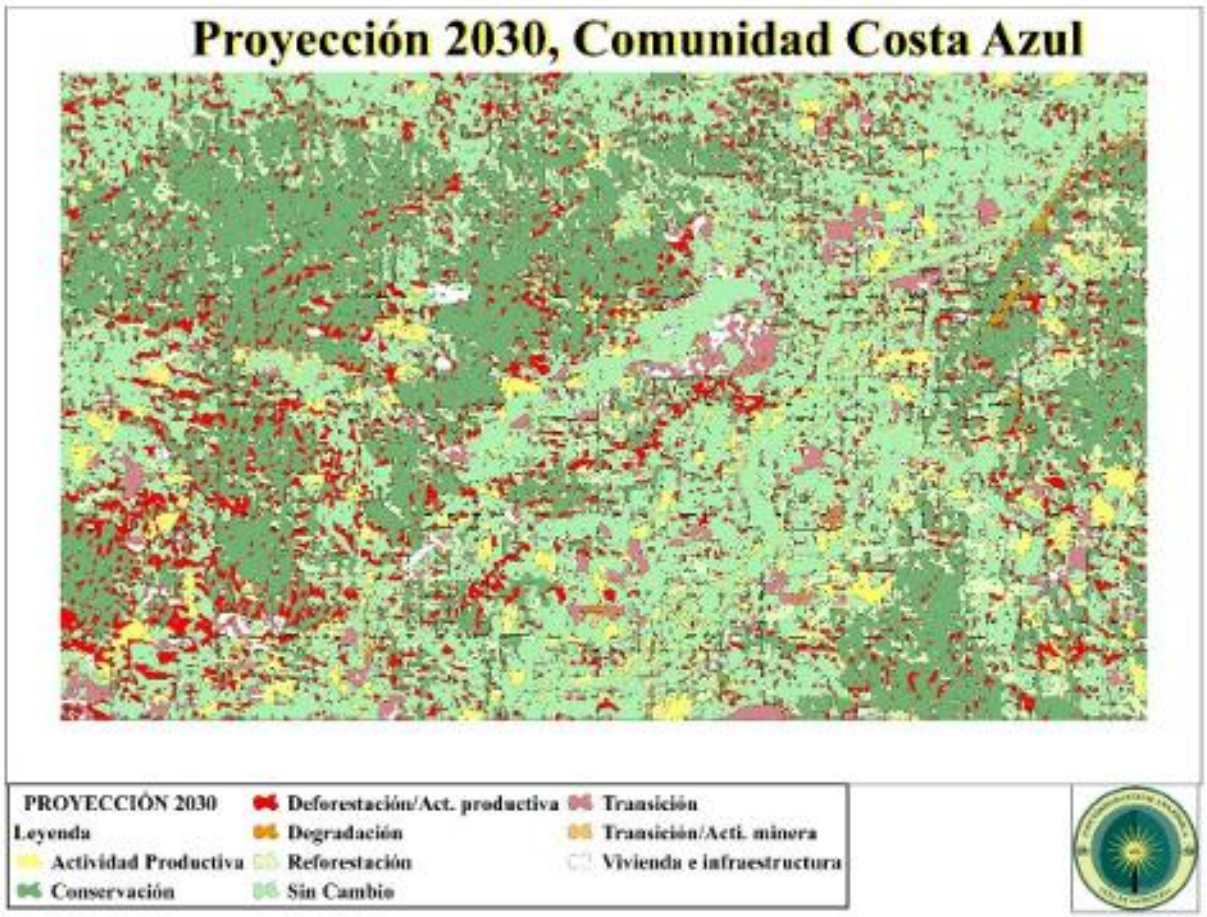


Figura 9. Mapa de la comunidad Costa Azul y cambios generados para el año 2030

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones:

De acuerdo con el análisis de cambio de la cobertura vegetal en los años 2013, 2017 y 2020, se identificó cuatro tipos de cobertura vegetal: 1) Cuerpos de agua; 2) Actividad minera e Infraestructura; 3) Mosaico agropecuario y 4) Bosque. En donde los cuerpos de agua se identifican por la presencia del río Anzu y Chumbiyacu que cruzan el área de interés, mientras que la Actividad minera e Infraestructura se caracteriza por la extracción de oro realizadas por los moradores y obreros de las empresas ligadas a la actividad, por ende, se han establecido viviendas, construcciones y carreteras de lastre apareciendo como suelo desnudo. En cuanto al Mosaico Agropecuario se identifican por actividades dedicadas a la agricultura y ganadería ejecutadas para la subsistencia de las familias que se encuentran cerca las zonas pobladas de la comunidad Costa Azul. Finalmente, el Bosque es característico de las zonas naturales que posee el lugar de estudio. Identificándose las clases con la ayuda de las imágenes satelitales de Landsat 8 y Sentinel-2 de la plataforma Earth Explorer y una posterior verificación con las imágenes del programa Google Earth Pro.

Se cuantificó los cambios de la cobertura vegetal en la comunidad Costa Azul mediante el método de la clasificación supervisada de la imagen de Landsat 8 del año 2013 y la clasificación no supervisada de las imágenes de Sentinel-2 de los años 2017 y 2020 a través de la aplicación ArcMap 10.7. En base al cálculo de áreas con herramienta *Zonal Geometry as table* se determinó que en 7 años se ha encontrado variaciones en el área de estudio; En Cuerpos de agua aumentó un 1,28% (87,23 ha), en Actividad minera e Infraestructura aumentó un 0,38 % (25,29 ha), en Mosaico agropecuario aumentó un 37,62% (2.567,73ha) y en Bosque disminuyó un 39,28% (2.686,63 ha).

La tasa de deforestación durante el periodo 2013-2020 de la cobertura vegetal estimada de la clase bosque es de 13,76 %, es decir que presenta un promedio de 383,80 hectáreas deforestadas anualmente ya sea especialmente por construcciones de infraestructura para los nuevos asentamientos de poblaciones, junto con la ejecución trabajos de la actividad miera y por las producciones agropecuarias para el mercado y sustento familiar.

La predicción hacia el año 2030, determinó que en la cobertura de cuerpo de agua existió menor cambio de 1,6 % (170,76 ha) con una pérdida de superficie de 63,12 ha y la clase que ha sufrido el

cambio más alto es el Mosaico agropecuario con un aumento de 28,7% (2952,84 ha) con una pérdida de superficie de 996,56 ha, siendo así que el 0,4% de mosaico pasó a cuerpos de agua, 10.9% se convirtió en infraestructura y el 30% se transformó en bosque.

Recomendaciones:

- Es importante mencionar que las imágenes satelitales deben contar con la menor cantidad de nubosidad para que los procedimientos en la aplicación ArcMap sean llevados a cabo sin dificultad.
- Es indispensable que se generen políticas de protección y conservación de los bosques primarios y segundarios, por ser fuentes de energía, almacenamiento de carbono y la belleza plasmada de las comunidades.
- Aplicar tecnologías amigables y programas confiables que apoyen al monitoreo y estudio de las actividades habituales existentes en el lugar de estudio, que no pongan en riesgo los bosques.
- Usar varios métodos de análisis temporal y hacerlo con una frecuencia anual para avizorar el cambio y posibles riesgos.

Referencias

Ariza, A. (2013). *Descripción y Corrección de Landsat 8*. http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf

B

allagh, L. M., Raup, B. H., Duerr, R. E., Khalsa, S. J. S., Helm, C., Fowler, D., & Gupte, A. (2011). Representing scientific data sets in KML: Methods and challenges. *Computers & Geosciences*, *37*(1), 57-64. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.05.004

BCE. (2017). *Reporte Minero.pdf*. https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero012017.pdf

Becerra, G. A., & Castillo, J. N. P. (2009). Servicio Grid para la clasificación no supervisada de imágenes satelitales utilizando autómatas celulares. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, *19*(2), 59-76. https://doi.org/10.18359/rcin.290

Bravo, J. D. (2000). *Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. 34.

Bustamante, T., & Ponce, R. L. (2010). *El Dorado o la caja de Pandora: Matices para pensar la minería en Ecuador*. Flacso-Sede Ecuador.

Cano, S. (2012). *Contaminación por mercurio por la actividad minera*. https://www.redalyc.org/pdf/843/84324092001.pdf

Capote, R. M. (2016). *Análisis multitemporal por medio de clasificación supervisada de imágenes landsat del parque entre nubes de la ciudad de Bogotá para identificar corredores ecológicos*. http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/14856

Castañeda Mora, E. I. (2015). *Análisis multitemporal del cuerpo de agua de la laguna El Sonso mediante imágenes satelitales landsat*. http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13442

Cordero, Y., & Mora, E. (2017). *Monitoreo de la cobertura y uso de la Tierra dentro de los límites del Humedal Nacional Térraba Sierpe mediante el uso de técnicas de Teledetección por las imagenes satelitáles y aéreas.* [Uiversidad Nacional de Costa Rica]. file:///C:/Users/userss/Downloads/Cordero_Y_Monitoreo_cobertura_uso_tierra_Humedal_Nacional_Terraba_Sierpe_2017%20(1).pdf

Criollo, C. P. S. (2020). *Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera de Ingeniería Agronómica*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.

Cueto, M. (2020). *El regreso de las epidemias: Salud y sociedad en el Perú del siglo XX*. Instituto de Estudios Peruanos.

Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, *120*, 25-36. https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026

Duarte, C., Sergio, A., Gerardo, B., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A., Simó, R., & Valladares, F. (Eds.). (2006). *Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Eastaman, R. (2001). *Guide to GIS and Image Processing*. Volumen 1. http://planet.uwc.ac.za/nisL/GIS/IDRISI/Idrisi32%20Tutorial/Documents/Idrisi_Guide1.pdf

García Haro, A. (2019). *Guía de proceso de descarga de imágenes de satélites Landsat, MODIS y Sentinel*. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/183370

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola [GADMCJAT]. (2014). *ACTUALIZACIÓN: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDYOT) del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola".*

González, M., Calonge, A., & Vehí, M. (2012). Utilización de los SIG como recurso para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las ciencias de la tierra: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, *20*(2), 173-187.

Gustavo, L., & Peters, D. (2010). *El sector minero en Sudamérica.pdf*. http://www.plataformademocratica.org/Arquivos/El%20sector%20minero%20en%20Sudam%C3%A9rica.pdf

Gutiérrez, J. M. G., & Miranda, J. P. R. (2015). Gestión ambiental de aguas residuales industriales con mercurio proveniente de la minería aurífera a nivel mundial: Estado del arte. *Universidad y Salud*, *17*(1), 132-144.

Häberer, H. (2002). *Guia de manejo ambiental para minería no metálica*. 53.

Izurieta, J. C., Erazo, G., Larson, A. M., & Cronkleton, P. (2014). *Desde nuestros ojos: La historia de los pueblos y bosques de Napo*. CIFOR.

López, C. (2014). *Técnicas de explotaciones Mineras*. 42.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP]. (2015). *"Levantamiento de Cartografía Temática Escala 1:25.000, LOTE 1" Cobertura y Uso de la Tierra Sistemas Producctivos Zonas Homogéneas de cultivo.*

Miranda, E., Mutiara, A. B., Ernastuti, & Wibowo, W. C. (2018). Classification of Land Cover from Sentinel-2 Imagery Using Supervised Classification Technique (Preliminary Study).

2018 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech), 69-74. https://doi.org/10.1109/ICIMTech.2018.8528122

NaturGis. (2018, abril 23). Proyecto COPERNICUS: Teledetección con imágenes SENTINEL. *NaturGIS: Sistemas de Información Geográfica para la gestión de la Naturaleza*. https://naturgis.es/2018/04/23/proyecto-copernicus-teledeteccion-con-imagenes-sentinel/

Oyarzun, R., Higueras, P., & Lillo, J. (2011). *Minería Ambiental Una Introducción a los impactos y su remediación*. https://eprints.ucm.es/14046/1/Libro_Mineria_MA.pdf

Pascuas, Y. (2001). *Modelamiento Matemático Aplicado Al Modelamiento Espacial*. 9.

Patiño, C. (2019). *Análisis multitemporal del Parque Nacional Natural Chingaza para determinar el estado de restauración ecológica de dos ecosistemas.* http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/22229

Picone, N. (2017). *Comparación de imagenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 8 en el estudio de áreas urbanas*. https://www.researchgate.net/profile/Natasha_Picone/publication/320705706_COMPARACION_DE_IMAGENES_SATELITALES_SENTINEL_2_Y_LANDSAT_8_EN_EL_ESTUDIO_DE_AREAS_URBANAS/links/59f658e80f7e9b553ebd29c1/COMPARACION-DE-IMAGENES-SATELITALES-SENTINEL-2-Y-LANDSAT-8-EN-EL-ESTUDIO-DE-AREAS-URBANAS.pdf

Queraltó Ros, P. (2012). *Análisis espacial con datos de teledetección (tutorial)*. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/17712/report4_PauQueralto.pdf

Quispe Mamani, I. E. (2019). Cambio de cobertura vegetal en la cuenca del rio Zapatilla Ilave—Juli. *Universidad Nacional del Altiplano*. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12057

Ramírez, A. (2015). *Cambio de uso de suelo en el Municipio de Villaflores. Análisis del período 1988 A 2012*. https://repositorio.unicach.mx/bitstream/20.500.12114/1018/1/CIT%20628.53%20R35%202015.pdf

Ramírez, J. G., & Muñoz, J. C. (2012). *Informalidad e ilegalidad en la explotación de oro y la madera en Antioquia*. https://core.ac.uk/download/pdf/47252803.pdf

Reymondin, L., Paz, P., Tello, J., & Perez, J. (2017). *Sistema de monitoreo en tiempo casi real para la detección de perdida de vegetación en los trópicos* (pp. 105-109). https://www.google.com/url?client=internal-element-cse&cx=partner-pub-3317167162609756:3134777453&q=http://www.terra-i.org/dam/jcr:53714338-0fe1-4d29-ab77-a8dd3eb654ef/Manual_de_usuario_Terra-i_CVC.pdf&sa=U&ved=2ahUKEwjK-s2e9M_pAhXOoHIEHZx7CsIQFjAAegQIBRAB&usg=AOvVaw2a2q53909LEV7po7DTJyS8

Rojas, J., & Valverde, J. (2010). *Análisis de fallas Geológicas y Riesgo Sísmico en la Zona Noroeste de Lima mediante Imágenes de Satélite*. http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/170

Rosero, E. G. (2017). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del Bosque Protector Andino Zuleta, en la sierra norte del Ecuador* [Universidad Técnica del Norte]. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5817

Rosero, M. M. (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*. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745

Rosete, F., Pérez, J. L., & Bocco, G. (2007). *Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México*. 20.

Saadat, H., Adamowski, J., Bonnell, R., Sharifi, F., Namdar, M., & Ale-Ebrahim, S. (2011). Land use and land cover classification over a large area in Iran based on single date analysis of satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *66*(5), 608-619. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.04.001

Sandoval, F. (2001). *La Pequeña Minería en el Ecuador*. 31.

SENPLADES. (2017). *Informe a la Nación.pdf*. https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/Informe-a-la-Nacion.pdf

Sobrino, J. A. (2001). *Teledetección*. Universitat de València.

Tamayo, L. (2014). La minería de tajo a cielo abierto en México: Una nueva forma de colonialismo. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, *44*(4), 25-41. https://doi.org/10.5209/rev_NOMA.2014.v44.n4.49291

Toapanta, A. R. R. (2017). Política minera y sostenibilidad ambiental en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, *1*(2), 41-52. https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.68

Vázquez, L. S., Leifsen, E., & Delgado, A. D. V. (2017). *Minería a gran escala en Ecuador: Conflicto, resistencia y etnicidad*. 24.

Weinberg, J. (2007). *Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG*. https://ipen-china.org/sites/default/files/documents/ipen_mercury_booklet-es.pdf

Xuan, Z. (2016). *GIS for environmental applications: A practical approach*. Routledge. https://books.google.com.ec/books?id=tP88DAAAQBAJ&pg=PA172&dq=Zonal+geometry+as+Table&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiP_caozI7rAhWEg-AKHUEMBacQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q=Zonal%20geometry%20as%20Table&f=false