

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL EN LA COBERTURA BOSCOSEA DE LA ZONA
NORTE DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ, 1990 - 2014**

ERIKA PALACIOS BERMÚDEZ



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

< ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y CUANTIFICACIÓN DE LA PÉRDIDA DE LA COBERTURA BOSCOSE EN LAS CUENCAS CONDOTO Y TAMANÁ - ZONA SAN JUAN DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ, 2012 - 2014

Palacios Bermúdez, Erika
2015>

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA BOSCOSE EN LA ZONA PACÍFICO NORTE DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ, 1990 - 2014

ERIKA PALACIOS BERMÚDEZ

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la inteligencia, sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad para desarrollar este proyecto.

A mis padres por la vida y a mis familiares por apoyo el incondicional y los valores impartidos.

Agradecemos inmensamente a la **Universidad de Manizales** por abrirme las puertas dándome la oportunidad de estudiar y convertirme en una profesional pensante y útil a la sociedad.

A los docentes de la universidad, en especial a los ingenieros **José Fernando Mejía y Luis Carlos Correa**, por su tiempo, dedicación, por su pasión en la actividad docente, y por el deseo de superación personal impartido.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. MARCO TEÓRICO	17
4.1 Cobertura de la Tierra	17
4.2 Análisis Multitemporal	17
4.3 Teledetección	17
4.4 Sensores Remotos	18
4.4.1 Tipos de Sensores Remotos	19
4.4.2 Características de los sensores remotos	20
4.5 Sistemas de Información Geográfica (SIG)	22
5. ANTECEDENTES	23
6. METODOLOGÍA	26
6.1 ÁREA DE ESTUDIO	26
Figura 2. Cabeceras de Nuquí, Juradó y Bahía Solano Respectivamente .	28
6.2 TIPO DE TRABAJO	28
6.3 PROCEDIMIENTO	29
6.3.1 Estandarización de las fuentes de Información secundaria de las coberturas boscosas	29
6.3.1.1. Información secundaria de deforestación de IDEAM	29
6.3.1.2 Información primaria del proyecto Biochocó período 2012-2014	30
6.3.2 Cuantificación y Análisis de la cobertura boscosa mediante la interpretación digital de imágenes satelitales.	30
6.3.2.1 Corrección geométrica	30
6.3.2.2 Corrección radiométrica	31

6.3.2.3 Interpretación Digital	31
6.3.2.4 Clasificación Supervisada	31
6.3.2.5 Transformación y generación de mapas temáticos	32
6.4 Identificación de variables que afectan los cambios de cobertura	32
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
7.1 EstandarizaCIÓN DE las fuentes de Información secundaria de las coberturas boscosas	33
7.2 CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS de las coberturas boscosas MEDIANTE INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES	35
7.2.1 Cuantificación de la Cobertura	35
7.2.2 Análisis Multitemporal de Coberturas Boscosas	37
7.2.3 Coberturas 2010-2012-2014	39
8. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES QUE AFECTAN EL CAMBIO DE COBERTURA	44
8.1 EXPLOTACIÓN FORESTAL	44
8. 2 Ampliación de la Frontera Agrícola y Ganadera	45
8.3 Uso de Cultivos Ilícitos	46
9. CONCLUSIONES	47
10. RECOMENDACIONES	48
11. BIBLIOGRAFÍA	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de recepción de imágenes satelitales	19
Figura 2. Localización del área de estudio.....	27
Figura 3. Cabeceras de Nuquí, Juradó y Bahía Solano Respectivamente	28
Figura 4. Imágenes satelitales fuente IDEAM	34
Figura 5. Imágenes satelitales fuente Biochocó	35
Figura 6. Zona de Análisis del período 2010-2012	42
Figura 7. Zona de Análisis del período 2012-2014	43

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Municipios del área de estudio.....	26
Tabla 2. Fuentes de información.....	33
Tabla 3. Coberturas Bosques periodo 1990 – 2014.....	36
Tabla 4. Cobertura de cambios de cobertura Boscosa 2010-2012.....	39
Tabla 5. Cambios de Cobertura Boscosa 2010-2014	39
Tabla 6. Cambios de cobertura Boscosa 2012-2014	40

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Tendencia de coberturas boscosas 1990-2014.....	37
Gráfica 2. Bosques estables en la zona Pacífico Norte	38
Gráfica 3. Crecimiento y deforestación periodo 2000-2012	38

GLOSARIO

Análisis Multitemporal: Un análisis multitemporal implica un cruce digital de dos imágenes satelitales 1987 y 2006, que previamente han sido clasificadas y que obligatoriamente guardan similitud en las clases y su leyenda, área, escala y proyección cartográfica utilizadas, de esta forma al cruzarlas digitalmente permite detectar las coberturas que han tenido cambio y cuantificar las coberturas que ganan o pierden área esto se conoce como dinámica de cambio, ya que supone que la pérdida de área para una determinada clase corresponde a la sustitución de la misma por otra cobertura cuya clase se encuentra reconocida al momento de la clasificación

Fotointerpretación: Acción o proceso de examinar imágenes fotográficas, mediante pares estereoscópicos, con el propósito de identificar objetos o condiciones y apreciar su significado.

Información Geográfica: Datos espaciales georreferenciados requeridos como parte de las operaciones científicas, administrativas o legales.

Imágenes Satelitales: es la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen información reflejada por la superficie de la tierra que luego es enviada a la Tierra y que procesada convenientemente entrega valiosa información sobre las características de la zona representada.

Las imágenes de satélite muestran, literalmente, mucho más de lo que el ojo humano puede observar, al exponer detalles que de otra forma estarían fuera de su alcance. El uso de las imágenes satelitales nos permite observar mediante la intensidad del pigmento de cada pixel la menor o mayor absorción de luz por parte de la vegetación en un determinado periodo de tiempo, la existencia de minerales en afloramientos rocosos o la contaminación de los ríos. Algunos satélites "ven" a través de las nubes y la niebla que ocultan parte de la superficie terrestre. Esto se debe a que en su interior posee miles de pequeños detectores que estiman la cantidad de radiación electromagnética (es decir, energía) que irradia la superficie de la Tierra y los objetos que hay en ella. Esto se le conoce como mediciones espectrales. Cada uno de los valores de reflectancia espectral se registra como un número digital (ND) que se almacena en pixel.

RESÚMEN

Se realizó un estudio de análisis multitemporal de cambios de cobertura en la región del Pacífico Norte chocoano integrada por los municipios de Nuquí, Bahía Solano y Juradó, los cuales presentan dentro de sus límites, extensas áreas de bosques con una alta diversidad específica, bañadas por numerosas cuencas hidrográficas que drenan sus aguas al Océano Pacífico. Se cuantificó la cobertura boscosa tomando como insumos los análisis de la información de deforestación de los periodos de 1990, 2000, 2005, 2010 y 2012 suministrados por el IDEAM para toda Colombia; y para el periodo de 2014 se realizó la interpretación digital con Imágenes del Sensor RapidEye del 2014, se utilizó el programa ArcGIS; el análisis Multitemporal de las coberturas

El análisis mostró que en el período 2010-2012, las zonas de área degradada y área generada se aprecian mayormente sobre los bordes del área de influencia de los Ríos y las Quebradas que sobre las zonas boscosas internas u homogéneas. Se muestra la presencia de área generada en los bordes de la zona aledaña de la cabecera Municipal, Ciudad Mutis, en los alrededores de la Quebrada Huanca, Rogelio, más al norte sobre la quebrada Nabugá; Al occidente de la Cabecera municipal sobre la Quebrada Seca.

Una zona de bastante presencia de área generada y deforestada se aprecia sobre el valle de la Quebrada Boroborito, en territorio del Consejo comunitario de los Riscales, en la que las zonas deforestadas presentan zonas rojas más considerables. Se aprecian zonas de deforestación en zonas específicas, en la zona alta del Río Valle, en territorio de los ríos del Valle y Boroboro. Para el análisis de la multitemporalidad al momento de incorporar el año 2014, se evidenció que las áreas deforestadas no están mayormente sobre los borde de los Ríos sino sobre áreas boscosas en las zonas amortiguadoras de la cuenca del Río Valle y en las zonas intermedias

Palabras Clave: Análisis multitemporal, Análisis de coberturas, Imágenes satelitales.

SUMMARY

A study of multi-temporal analysis of changes in the region covering North Pacific Choco composed of the municipalities of Nuquí, Bahía Solano and Jurado, which have within their boundaries, large areas of forest with high species diversity, bathed performed by many watersheds that drain their waters to the Pacific Ocean. Forest cover was quantified using as input the data analysis of deforestation in the periods 1990, 2000, 2005, 2010 and 2012 supplied by IDEAM for all Colombia; and for the period 2014 digital interpretation was performed with sensor RapidEye Images 2014, the ArcGIS software was used; The multi-coverage analysis

The analysis showed that in 2010-2012, area degraded areas and mostly appreciated area generated on the edges of the area of influence of the rivers and streams that on internal wooded areas or homogeneous presence generated area is displayed at the edges of the surrounding area from the county seat, Ciudad Mutis, around the Quebrada Huanca, Rogelio, further north on the Nabugá broken; West of the county seat on Quebrada Seca.

Area generated enough presence and deforested area is seen on the valley of the Quebrada Boroborito, in the territory of the Community Council of Riscuales, where deforested areas are more significant red zones. Deforestation areas are seen in specific areas, in the upper area of the River Valley, in the territory of the Valley rivers and Boroboro. For the analysis of the time to incorporate multitemporality 2014, it became clear that the deforested areas are not mostly on rivers edge over forested areas but in buffer zones of the Rio Valley and in the intermediate zones

KEY WORDS: Multi-temporal Analysis, Coverage Analysis, Satellite Imagery.

INTRODUCCIÓN

El Pacífico colombiano es una de las zonas con mayor biodiversidad en el planeta (Díaz & Gast, 2009), sus selvas registran el mayor número de especies y comunidades por unidad de área, 300 especies en 0,1 hectáreas de vegetación zonal (Vander Hammen & Rangel 1997).

El litoral pacífico colombiano es considerado una de las regiones del mundo con mayor densidad de formas de vida por kilómetro cuadrado. Posee una de las más altas concentraciones de especies por área en flora y fauna. La flora regional contiene entre siete y ocho mil variedades de especies del total de 45 mil plantas existentes en Colombia, su selva pluvial central es el lugar de máxima diversidad florística del trópico americano. Su riqueza en fauna se caracteriza por la presencia de un gran número de endemismos. En materia de aves, la región cuenta con 62 especies de distribución limitada, la más alta de Suramérica. (Ministerio de Educación Nacional, 2015)

La zona pacífico norte está integrada por los municipios de Nuquí, Bahía Solano y Juradó, que presentan dentro de sus límites, extensas áreas de bosques con una alta diversidad específica, bañadas por numerosas cuencas hidrográficas que drenan al Océano Pacífico. En el área conviven comunidades negras e indígenas, las que en muchas ocasiones han subsistido con lo que la naturaleza les provee; esta zona en las últimas décadas se ha visto abocada por graves problemas debido a la destrucción de la cobertura boscosa a través de procesos como la expansión de la frontera agropecuaria, el aprovechamiento forestal, la ganadería y la colonización principalmente, situación que ha traído serias consecuencias como la pérdida de biodiversidad específica y el deterioro de importantes ecosistemas que ponen en peligro la seguridad alimentaria de la población asentada en esta parte del territorio. En la costa pacífica gran parte de sus bosques han sido intervenidos para la obtención de diferentes productos, usados como materia prima para la construcción de viviendas, embarcaciones, postes de conducción eléctrica y telegráfica, carbón vegetal etc. Afectando así el papel ecológico que estos desempeñan al ser sistemas altamente productivos y complejos integrados por diferentes hábitats vitales para el desarrollo de una importante red trófica, su productividad los convierte en ecosistemas excesivamente frágil.

Lo anterior crea la necesidad de tomar medidas que nos permitan cuantificar el deterioro de la cobertura boscosa y diagnosticar el estado del ecosistema. En este sentido una de las técnicas más usadas en los últimos tiempos, son los análisis multitemporales aplicados a los cambios de las coberturas boscosas, que con la ayuda de las plataformas de sensores remotos y sus productos (imágenes satelitales de los sensores pasivos y activos), permiten cuantificar con un alto grado de precisión y eficiencia, la existencia de las variables, permitiendo los análisis comparativos de las coberturas boscosas de diferentes años o períodos.

En este documento se presenta la cuantificación y análisis de la cobertura boscosa tomando como insumos la información de deforestación de los períodos de 1990, 2000, 2005, 2010 y 2012 suministrados por el IDEAM para toda Colombia; como también las Imágenes del Sensor RapidEye del 2014, se espera que la información obtenida sirva como insumo en la toma de decisiones a nivel local, regional y nacional para un mejor manejo y conservación de este ecosistema.

Diferentes países han realizado análisis multitemporales utilizando imágenes satelitales, en el año 1999 en Argentina realizaron una determinación de uso del suelo mediante análisis multitemporal de imágenes Landsat en los Oasis de la provincia de Mendoza, también en la universidad del valle en 1998 se realizó un estudio demostrativo de coberturas y cambios de uso del suelo en Buenaventura; además el Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI) posee una base de datos espaciales de la cobertura vegetal de cultivos de coca realizada a partir del análisis de imágenes satelitales; lo cual permite identificar los cambios producidos como consecuencia de los cultivos ilícitos.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

La falta de interés de los habitantes por preservar y mantener el estado natural de los bosques es casi nula, el uso del bosque cada vez se va incrementando debido al cultivo de especies de flora, en los últimos años ha sido evidente la progresiva pérdida de cobertura vegetal en la región del Pacífico Norte chocoano, evidenciándose daños considerables en zonas como las cabeceras municipales, el acelerado ritmo de deforestación que en algunos lugares se manifiestan de modo temible, han producido una notoria pérdida de cobertura vegetal que en algunos casos ha causado cambio de uso del suelo; causa de esto, el crecimiento demográfico, la debilidad de sectores alternativos productivos y la falta de vigilancia y control por parte de autoridades competentes. El cambio de cobertura y uso del suelo en la región pacífica chocoana, originado por acción del hombre, el cual es evidente en diferentes unidades paisajísticas, estos procesos de cambio son cada vez mayores y han generado la pérdida de la cobertura boscosa y disminución de recursos naturales circundantes; afectando de esta manera a las comunidades presentes.

De este modo los ecosistemas asociados presentes en las últimas décadas vienen siendo el escenario de actividades que atentan contra su gran riqueza biológica y cultural, las condiciones geológicas favorables para la tala de bosques han dado lugar, a que en este ente territorial, el desarrollo de la explotación de carácter artesanal e ilegal, hayan ocasionado impactos negativos sobre la calidad de vida de las comunidades asentadas en dichos territorios. De acuerdo a lo anterior, cabe resaltar que dicha intervención ha modificado de una manera permanente la vegetación original, donde muchas especies nativas han desaparecido al destruirse grandes áreas debido a la expansión de monocultivos y a la falta de alternativas económicas productivas para las poblaciones, quienes con el afán de subsistir acuden de manera inmediata a prácticas poco amigables en contra del entorno natural, destruyendo dichos ecosistemas los cuales traen la mirada de turista y visitantes del lugar. Por todo lo expuesto, se hace necesario el análisis multitemporal de las coberturas de la zona Pacífico norte con el objeto de detectar cambios entre diferentes fechas deduciendo de ahí las repercusiones de las presiones antrópicas sobre el medio ambiente.

¿Cómo a través de un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales se puede determinar el cambio de una estructura boscosa en las áreas disturbadas por la presión antrópica?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar Multitemporalmente y Cuantificar los cambios de la cobertura Boscosa de la zona pacífico norte.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estandarizar las fuentes de Información secundaria de las coberturas boscosas.
- Cuantificar y Analizar la cobertura Boscosa mediante la Interpretación Digital de Imágenes Satelitales.
- Identificar Variables que afectan los cambios de Cobertura.

3. JUSTIFICACIÓN

La capacidad de los bosques como agentes receptores y liberadores de oxígeno que es esencial para los seres vivos y la subsistencia vegetal en el mundo, se basa en una buena estructura de los suelos, los cuales salvaguardan por medio de la vegetación que se produce sobre ellos y los hace funcionar como controladores de inundaciones y erosiones, además, son proporcionadores de diferentes tipos de madera que se utilizan para la fabricación de papel, lápices, muebles, etc., proveen fuentes considerables de alimento y ayudan a dar dirección y velocidad a los vientos.

Los servicios ambientales que prestan los bosques del pacifico norte en este sentido es excepcional ya que por encontrarse en una zona estratégica (marino-continental) le permite a las comunidades asentadas allí, brindar diferentes tipos de servicios (turísticos) que no afecten ni incidan en contra de la vida natural de los ecosistemas.

En concordancia con lo antes mencionado, es de suma importancia anotar que el análisis multitemporal como insumo para determinar el estado de degradación de la estructura boscosa en las áreas afectadas por la intervención humana, permite dar a conocer la problemática y sensibilizar a las comunidades de las repercusiones que trae la desaparición de áreas boscosas en la vida del ser humano, de igual manera permite conocer que ha pasado con el territorio en el transcurso del tiempo, los cambios que presenta el suelo, y a su vez las variables o motores que inciden en el cambio o pérdida de cobertura vegetal en la zona.

4. MARCO TEÓRICO

En el desarrollo de este proyecto se utilizan términos y conceptos los cuales son importantes para que las personas que quieran conocer este proyecto los tengas claro ya que permite familiarizarse con el tema a tratar, a continuación algunos de ellos.

4.1 COBERTURA DE LA TIERRA

La "Cobertura" de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra (Di Gregorio, 2005), en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua. (Ideam, 2014)

4.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Es el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos o más imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas. Como los meses del año y los años entre si difieren en sus características climáticas, un análisis multitemporal es mucho más amplio que el análisis de una sola imagen. (scanterra, 2015)

4.3 TELEDETECCIÓN

La teledetección es aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación remota sea posible es preciso que entre los objetos y el sensor exista

algún tipo de interacción (Chuvieco, 2002) y el resultado usualmente, pero no necesariamente, es almacenado como una imagen (fuente de datos).

Para esto se requiere al menos, tres componentes: foco energético, superficie terrestre y sensor (Lanero, 2015) afirma que una de las formas de clasificarlos es el procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas y ellos son: (1) Pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y (2) Activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía. (Chuvieco, 2002)

También se entiende como teledetección cualquier procedimiento o técnica de adquisición de información sin tener contacto directo con el objeto o sistema observado (Pérez & Muñoz, 2006; Sobrino, 2000) En un modo más restringido, y en el ámbito de las ciencias de la Tierra, la teledetección es entendida como una técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de imágenes tomadas desde satélites artificiales. Según otros autores, la teledetección parte del principio de la existencia de una perturbación (energía electromagnética, campos gravitacionales, ondas sísmicas, etc.) que el sistema observado produce en el medio, la cual es registrada por el sistema receptor para posteriormente ser interpretada. (Pérez & Muñoz, 2006)

4.4 SENSORES REMOTOS

Sistema de detección y medida a distancia, generalmente empleados desde aeronaves o satélites, con los que se obtiene información meteorológica, oceanográfica, sobre la cubierta vegetal, etc. Para tales medidas se utilizan sistemas de detección activos y pasivos (scanterra, 2015)

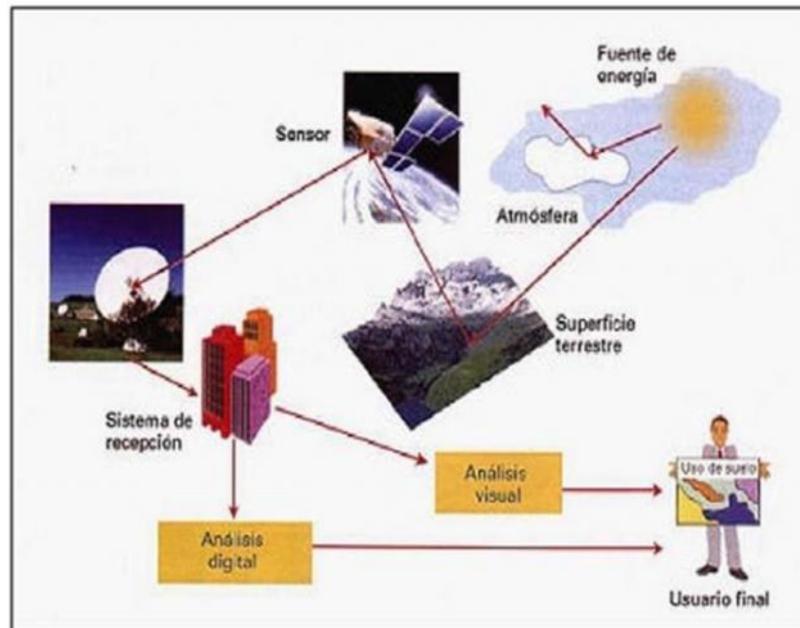


Figura 1. Sistema de recepción de imágenes satelitales

4.4.1 Tipos de Sensores Remotos

El Sol es la fuente de energía, la cual ocasiona una serie de fenómenos e interacciones con las características terrestres, los cuales producen en los sensores remotos, respuestas espectrales particulares lo que los hace identificables. Sin embargo, es importante aclarar que no todos los sensores remotos utilizan al Sol como su fuente energética, lo que hace necesario diferenciar entre sensores activos y pasivos (Natural Resources Canada, 2015) estos se explican a continuación:

- ✓ **Sensores Activos:** Los sensores denominados activos no dependen de una fuente de energía externa para activarse; pues generan su propia energía (Fallas, 2003), estos proyectan la energía hasta sus objetivos, obteniendo así una respuesta espectral ellos. Con respecto a los sensores pasivos presentan una ventaja ya que pueden obtener mediciones sin importar la hora del día o estación del año; asimismo, es posible estudiar la respuesta espectral de objetos con respecto a longitudes de onda de menor energía incidente, e inclusive no se ven afectados por la presencia de nubes (Coronado, 2001).

- ✓ Sensores Pasivos: son aquellos sensores que sólo pueden ser empleados en detectar energía cuando existe una fuente natural o externa (Sol). En la mayoría de los casos, solamente es posible el funcionamiento de dichos sensores en el día. La actividad en la noche es mínima, y solo podría ser captada la energía emitida por los mismos objetos (Coronado, 2001).

4.4.2 Características de los sensores remotos

Los sensores remotos pueden ser valorados por una serie de características propias lo cual hace que sean adecuadas para una u otra labor, llegando así a la especialización, por eso es de suma importancia considerar estos aspectos a la hora de trabajar con un determinado sensor. Estas características se mencionan a continuación.

- ✓ Resolución espacial: Está dada por el campo de visión instantánea, definido como la sección angular, medida en radianes, observada en un momento dado. Depende de la apertura del dispositivo óptico del sensor. No obstante al hablar de resolución espacial se suele utilizar la distancia sobre el terreno correspondiente a este ángulo. Esta distancia es el tamaño de la mínima unidad de la imagen de la que tenemos información, es, el tamaño medio del píxel (Sobrino, 2000).

La resolución espacial de un sensor depende de varios factores como lo son la altura orbital, la velocidad de exploración y el número de detectores. Es considerada un factor clave a la hora de caracterizar la potencialidad de un sensor ya que marca el nivel de detalle que ofrece la imagen. Nos dice el tamaño mínimo de los elementos discriminables en la imagen. Cuanto menor es el tamaño del píxel mejor resolución tiene la imagen, es posible discriminar más objetos. No obstante el tamaño del píxel establece el umbral de elementos discriminables, hay otros factores (geometría, contraste de radiación entre objetos próximos, claridad de la atmósfera) que introducen matizaciones. Por ejemplo en una imagen Landsat TM con una resolución espacial de 30 m, es posible discriminar carreteras cuya anchura sea inferior a este umbral ya que se trata de un elemento lineal. De igual modo un edificio con un tamaño inferior a 900 m², pero ubicado en una zona rodeada de cultivos puede aparecer representado en la imagen si el contraste espectral entre la respuesta del edificio y la vegetaciones es suficientemente alto (Sobrino, 2000).

- ✓ Resolución espectral: La resolución espectral de un sensor expresa su aptitud para separar señales de longitudes de onda diferentes y depende del dispositivo de filtro óptico que separa la radiación incidente en bandas espectrales más o menos amplias. La resolución espectral indica el número y la anchura de bandas espectrales en que un sensor registra la radiación. Por ello cuanto mayor sea el número de bandas y más estrechas sean, tanto mejor es la resolución espectral, mayor la capacidad del sensor para reproducir la respuesta del objeto observado y, en consecuencia, la posibilidad de discriminar unas coberturas de otras. Si las bandas espectrales son muy amplias, supone que se registra un valor promedio de radiación. Por ejemplo una banda visible nos da información acerca del albedo de una superficie pero no permite discriminar la vegetación de otro tipo de coberturas (Sobrino, 2000).

La elección del número de anchura y localización de las bandas espectrales que incluye un sensor, está relacionada con los objetivos de su diseño. Un sensor meteorológico únicamente necesita una banda en el visible puesto que las nubes no presentan diferencias cromáticas. Sin embargo, necesita bandas en el térmico, o en el IR medio para observar la humedad atmosférica. Un sensor de recursos naturales necesita bandas que permitan discriminar la vegetación y el color de las superficies y por lo tanto será mejor cuanto mayor número de bandas y más definidas tenga.

- ✓ Resolución radiométrica: La resolución radiométrica hace referencia a la sensibilidad de un sensor y expresa su aptitud para diferenciar señales electromagnéticas de energía diferente. Está condicionada por los intervalos de digitalización de la señal. El número máximo de niveles digitales de la imagen suele identificarse con la resolución radiométrica y oscila entre 64, 128, 256, 1024. Este rango de codificación varía con los distintos sensores (Sobrino, 2000).

Lógicamente cuanto mayor sea el número de niveles mejor es la resolución radiométrica y mejor la información. Para un análisis visual no es importante tener muchos niveles de color ya que el ojo humano difícilmente puede percibir más de 64 tonos de gris, pero cuando se opta por el tratamiento informático, la mejora en la resolución puede ser significativa.

- ✓ Resolución temporal: La resolución temporal alude a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor, esto es, la periodicidad con que adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación) así como del diseño del sensor (ángulo de observación y abertura) (Sobrino, 2000).

4.5 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Son sistemas informáticos que utilizan información locacional, tal como números de lotes, información catastral, coordenadas de latitud y longitud. Un SIG puede mapear cualquier información almacenada en planillas o bases de datos, que tengan un componente geográfico que permita ubicarlos en el espacio; los SIG pueden incorporar en un mismo mapa diversas variables como por ejemplo cartas de suelos, datos climáticos, vegetación y cultivos, algunos de esos datos provienen de las imágenes satelitales. (scanterra, 2015)

5. ANTECEDENTES

En la investigación de trabajos de grado que sirvieran de soporte al proyecto, se encontraron documentos acerca de los análisis multitemporales, en los cuales se describe la versatilidad de la afectación y análisis de coberturas en diferentes zonas de estudio. Posteriormente se mencionarán algunos trabajos de grados y artículos de diferentes ámbitos ya implementados.

Se encontró un trabajo de grado titulado, *“Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del distrito central años 1987 y 2006”* presentado por Olga Patricia Hernández Rodríguez en Honduras, el principal objetivo de este trabajo fue analizar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal del Municipio del Distrito Central mediante análisis multitemporal de las dinámicas de cambio sobre la cobertura de la tierra durante un intervalo de tiempo de 18.22 años. Se utilizó dos imágenes satelitales TM y ETM+, años 1987 y 2006 obtenidas por los sensores Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+, la metodología utilizada fue la interpretación y clasificación digital no supervisada de la cobertura del suelo donde se identificaron las principales coberturas del suelo existentes en ambos años, se logró la clasificación en siete clases para dos .Bosque de Coníferas, Bosque Mixto y Matorrales.La Cobertura no Vegetal hace referencia a las clases: Suelo Desnudo, Cuerpos de Agua y Urbano. Los resultados muestran que desde el año 1987 al 2006, más del 50% de las clases establecidas en la clasificación no supervisada sufrieron pérdidas en su área, estas son: Bosque Latifoliado 1,443.93 ha, Bosque Mixto 3,043.20 ha, Bosque de Coníferas 38,383.16 ha, Suelo Desnudo 4,702.16 ha; en las clases restantes Matorral, Cuerpos de Agua y Urbanos ocurrió incrementó en sus áreas respecto al valor que poseían en el año 1987 con: Matorral 35,788.50 ha, Cuerpos de Agua (embalses Los Laureles y La Concepción) 2,495.70 ha y Urbano 9,288.27 ha; por último se determinó que las clases asignadas a la categoría Cobertura Vegetal en el intervalo de 18 años sufrieron pérdida de 7,081.8 ha, este valor se convirtió en ganancia durante el mismo intervalo de años para la Cobertura no vegetal. (Rodríguez, 2012).

También se encontró un artículo titulado *“pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana san Luis (manizales)”* en el que su principal objetivo era analizar multitemporalmente la producción de oxígeno en la cuenca san Luis donde se aplicó la metodología de

procesamiento de la planimetría de la cuenca de San Luis y se realiza un estudio a las imágenes aéreas; esta aproximación visual, se complementa con cartografía multitemporal, donde se evidencia la disminución de la estructura verde y por consiguiente, según el análisis realizado el cambio en el comportamiento del oxígeno aportado a la cuenca urbana o la pérdida del mismo, como una consecuencia del avance de la urbanización; los análisis mostraron que el porcentaje urbanizado fue de 8,54%, el forestal de 61,69% y el de herbáceos de 29,76%, en el año de 1955 se aumentó al 39,71% el porcentaje urbanizado, disminuyendo a su vez el porcentaje forestal al 33,35% y el de herbáceos al 29,76%, lo que indica la acelerada y drástica expansión del área urbana en el sentido occidente oriente de la ciudad, según se aprecia también en la cartografía y las aerofotografías.

En los años 1955 a 2003, la curva de crecimiento continúa, con tendencia de subida suave, respecto a los años anteriores con un 8%. Mientras que entre los años 1944 a 1955 se observa que la urbanización creció un 40%, diferente a la tendencia de los últimos 50 años. Algunos autores expresan que el desplazamiento de la población ocupó las cabeceras municipales de las ciudades en la zona cafetera (Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Urbanismo, 2008); además el estudio muestra que la proyección, ha aumentado un 5% por año en porcentaje urbanizado desde el 2010. (Álvarez Del Castillo & Agredo Cardona, 2013)

De igual manera se rastreó un artículo titulado, *“Dinámica de la deforestación en Venezuela: análisis de los cambios a partir de mapas históricos”* en este trabajo se evalúa la dinámica de los bosques de Venezuela, mediante técnicas de detección de cambios aplicadas a una serie de mapas históricos. El análisis permitió identificar la superficie boscosa, las ganancias, pérdidas, cambios netos, tasas anuales de deforestación y porcentajes de pérdida del bosque en diferentes períodos entre 1920 y 2008. El estudio muestra que el mayor avance del bosque se produjo entre 1920-1960 con una ganancia de 8.699.600ha, mientras que las mayores pérdidas y cambios netos se presentaron entre 1960-1982, con 15.168.200ha y -10.877.800ha, respectivamente. Así mismo, para todo el periodo evaluado (1920-2008), se perdieron el -26,43% (-17.935.800ha) de los bosques venezolanos, con una tasa promedio anual de -0,30%, siendo las zonas más afectadas de la región Noroccidental, específicamente los Llanos occidentales y el sur del Lago de Maracaibo. El período entre 1982 y 1995 ha sido el más crítico para todo el país, por presentar la tasa promedio anual de pérdida más alta del período con -0,93% (-528.522ha). A pesar de que en la última

década ha habido una recuperación del bosque de 3,27% (1.631.600ha), debido principalmente al proceso de expansión natural, la deforestación continúa, de manera alarmante, con pérdidas de -288.000ha/año.

Por otro lado se encontró un proyecto titulado *“Monitoreo de cambios en la cobertura vegetal del santuario de flora y fauna de iguaque y su área de influencia, entre 1986 y 2014, empleando software libre de código abierto”* en donde se llevó a cabo un análisis de los cambios en la cobertura vegetal del santuario y su área de influencia, a través del uso de algoritmos de clasificación semi-automática en software libre de código abierto. Para el análisis se obtuvieron dos imágenes Landsat, correspondientes a los años de 1986 y 2012, y a través del plugin asociado al software libre QGIS, para la clasificación semi-automática de coberturas, se obtuvo una aproximación a los cambios que se han dado a través del tiempo y que obedecen a los diferentes factores de presión. (Cárdenas Chávez, 2007)

Por último se encontró un proyecto titulado *“Análisis multitemporal mediante imágenes satelitales Landsat, caso de estudio: cambio de área laderas de la ciénaga de Tumaradó parque natural los Katíos”*, el principal propósito de dicho proyecto fue la realización de un análisis multitemporal del cambio de área en las laderas de la ciénaga Tumaradó, para este análisis se utilizó un periodo de 10 años, para la realización de este estudio se utilizaron básicamente imágenes Landsat EMT de los años 1991 y 2001, descargadas de la página WEB de U.S Geological Survey (USGS), Georreferenciadas al sistema MAGNA SIRGAS, la metodología utilizada fue la mínima distancia, esta utiliza un criterio sencillo para asignar un pixel a una de las categorías, en este caso la más cercana, lo cual reduciría la distancia entre cada pixel y el valor correspondiente al centro de la clase, siendo esta distancia espectral y no geográfica, el resultado obtenido fue la clasificación de las coberturas existentes en la zona (Fonseca & Gómez, 2013)

6. METODOLOGÍA

6.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la región pacífica zona norte, ubicada al Noroccidente del Departamento del Chocó, conformada por los municipios costeros de Nuquí, Bahía Solano y Juradó, totalizando un área de 291.981,86 hectáreas., ver tabla 1

Tabla 1. Municipios del área de estudio.

Municipio	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Juradó	129.606,16	44,39
Bahía Solano	90.690,82	31,06
Nuquí	71.684,88	24,55
Total	291.981,86	100,00

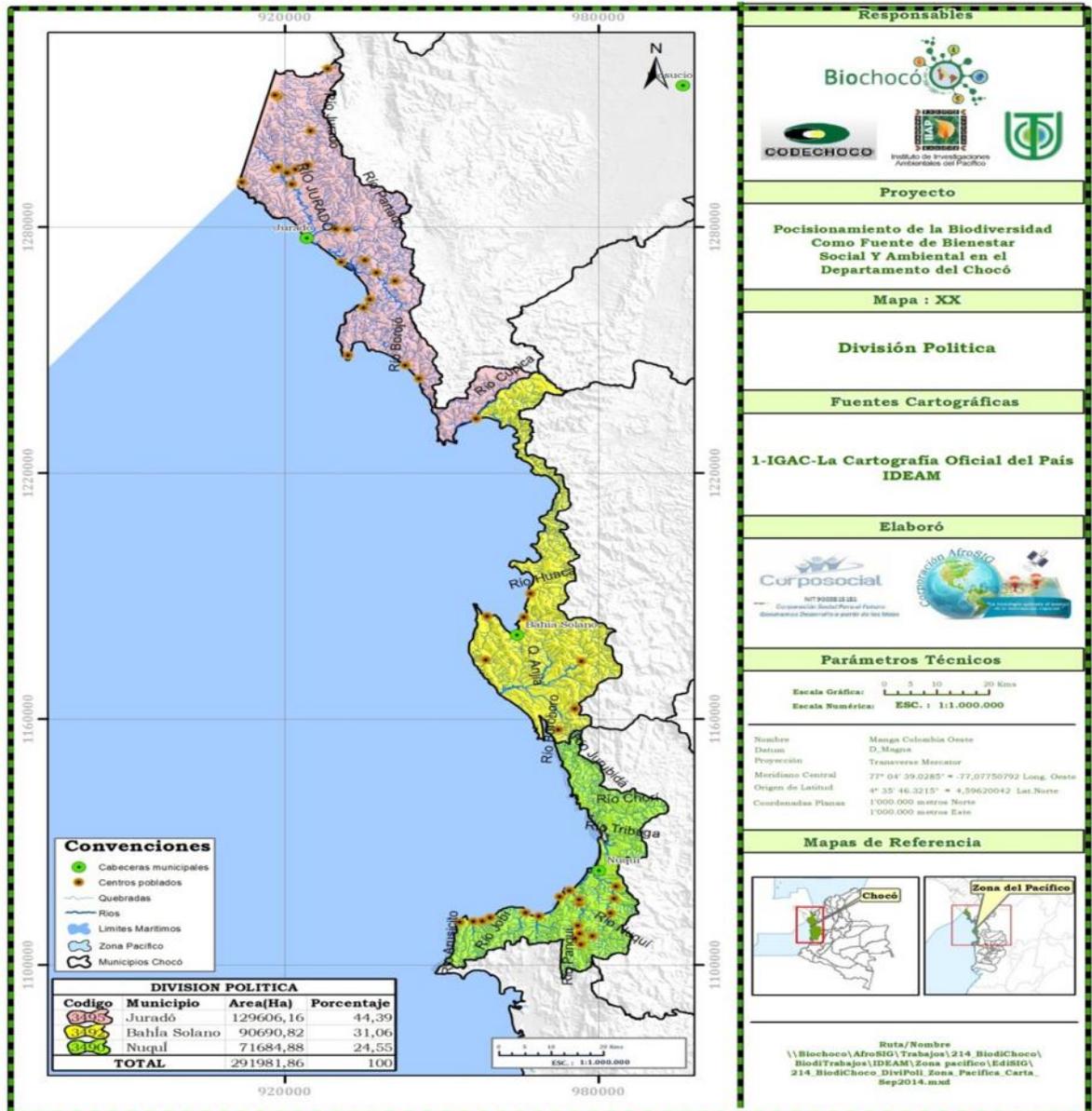
Fuente: SIG IIAP, (Corposocial & AfroSIG, 2014)

Según la fuente de Información del IGAC-2007, La zona del Pacífico Norte presenta la clasificación de clima Cálido muy Húmedo representada en un 99,89% de la superficie total y el restante 0,11% por las clasificaciones de Cálido Húmedo y Templado muy Húmedo; en cuanto a los tipos de suelos, según estudios del Proyecto andén pacífico, existen 18 tipos agrupados a su vez en cuatro (4) formas de paisajes (Lomerío, Montañas, Planicies aluviales y Valles- fluvio marinos). La geomorfología en la zona Pacífico Norte existen diez (10) formas de relieve; entre las que se encuentran: Montañas Erosionales Ramificadas de Larvas Basicas (F1) con 51,04%, seguido por Espinazo Homoclinal en Limolita y Arenisa Conglomerática (S2) con 16,39%; la Geología está compuesta por diversos grupos de formaciones tales como: formaciones, Depósitos aluviales, Rocas Volcánicas, Islas barrenas, Intermareales, Playas y Balastos en la que predominan las temáticas de formación uva, los Basaltos el Baudó distribuidos espacialmente en las zonas altas hacia el Oriente.

En cuanto a su relieve, esta zona presenta alturas desde 0 msnm en el borde del límite marítimo – continental a aproximadamente 500 msnm; las cuencas hidrográficas drenan sus aguas al Océano Pacífico y la mayor parte del territorio

está ubicado en zonas de Alta amenaza en un (75,30%) como los muestran las cabeceras de estos municipios Ver figura 2.

Figura 2. Localización del área de estudio



Fuente: Cartografía IGAC. Diagramado por Equipo SIG IAP – CORPOSOCIAL AFROSIG

Figura 3. Cabeceras de Nuquí, Juradó y Bahía Solano Respectivamente



Fuente: EOTS Municipales 2005

6.2 TIPO DE TRABAJO

El tipo de investigación utilizado para este proyecto fue una investigación descriptiva conocida también como investigación estadística, ya que permitió brindar una información de manera verídica y confiable describiendo datos y características de la población o zona de estudio, para de esta manera determinar el problema dándole una posible solución a este, partiendo de la zona de ubicación; de igual forma se expresa que, el tipo de investigación utilizado estuvo basado en un análisis multitemporal con imágenes satelitales y software especializados (ArcGis y Erdas), para la obtención de datos de impactos ambientales en la zona norte del pacífico, como producto de las actividades lícitas, ilícitas y la influencia del hombre.

6.3 PROCEDIMIENTO

El análisis de la cobertura comprendió diferentes etapas y procedimientos, desde la estandarización de las fuentes de información hasta la identificación de variables que afectan el cambio de la cobertura. La determinación de la cobertura, fue realizada mediante una clasificación supervisada. A partir de esta clasificación fue posible la realización de los diferentes análisis. A continuación se explican en detalle los procedimientos.

6.3.1 Estandarización de las fuentes de Información secundaria de las coberturas boscosas.

Para la estandarización de las variables espaciales, tanto de fuentes primarias como secundarias, y en cumplimiento con la normatividad nacional adoptada para Colombia por el IGAC, se aplicó a toda la cartografía temática, la referencia espacial del marco geocéntrico nacional de referencia, densificación del sistema de referencia geocéntrico para las américas, llamado MAGNA-SIRGAS, que garantiza la compatibilidad de las coordenadas colombianas con las técnicas espaciales de posicionamiento, por ejemplo los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems), y las normas internacionales de datos georeferenciados.

6.3.1.1. Información secundaria de deforestación de IDEAM

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), desarrolló por medio de la Unidad de Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono el estudio de la cuantificación de la Tasa de Deforestación Anual en Colombia. Este estudio que se desarrolló a nivel nacional contó con la interpretación satelital de imágenes de resolución 30m restituidas a escala 1:100.000; dichas imágenes tienen una temporalidad de cada 2 años y se identificaron mapas temáticos de Bosque, No Bosque y cambio de cobertura.

La cartografía de deforestación 2013I; contiene los mapas de Coberturas Vegetales de las temáticas, Bosque, No Bosque, bosque inestable y la categoría sin información a escala 1:100.000 para los años 2000, 2005, 2010 y 2012.

La información fue suministrada en formato de información tipo raster, producto de la interpretación satelital con imágenes multi-espectrales de los sensores LandSat 8M, Spot y Aster con tamaño de resolución que no superan los 30 metros de pixel.

6.3.1.2 Información primaria del proyecto Biochocó período 2012-2014

En el marco del proyecto de “Posicionamiento de la biodiversidad como fuente de bienestar social y ambiental en el Departamento del Chocó” en la que participan las Entidades de la Universidad Tecnológica del Chocó, “Diego Luis Córdoba”, UTCH, la corporación Autónoma para el Desarrollo Sostenible del Chocó, CODECHOCÓ y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico IIAP, se autorizó el uso de la información de interpretación satelital de imágenes del sensor RapiEye de resolución 6m, de la zona de estudio. Se realizó una clasificación de las coberturas con la metodología Corine land Cober. Para este caso se tomó de la tabla de la leyenda Nacional de coberturas de la Tierra, clasificación “3.1 Bosque”.

6.3.2 Cuantificación y Análisis de la cobertura boscosa mediante la interpretación digital de imágenes satelitales.

Para la cuantificación y análisis de las coberturas, se aplicaron las siguientes técnicas:

6.3.2.1 Corrección geométrica

El proceso de rectificación consistió en la transformación matemática de coordenadas, desde un sistema de imagen (número de fila y columna - pixel) a un sistema de coordenadas reales del terreno. El principio se basa en identificar puntos dentro de los dos sistemas y, determinar de esta manera, un modelo matemático que permita realizar la transformación de todos los puntos del RASTER. Este proceso es complementado con la reasignación de los valores espectrales, que en este caso, es realizado mediante el método “vecino más cercano” para minimizar el cambio de la resolución espectral de los píxeles. Para la referenciación geográfica de la imagen satelital se estableció una cantidad de puntos de control identificables en cada imagen y repartidos en toda la escena establecidos en sitios de coberturas como desembocadura de Ríos y Quebradas entre otros. En el segundo paso se determinó las coordenadas de la imagen correspondiente a los puntos de control antes seleccionados. Para la selección de

puntos de control, el software utilizado es ERDAS Imagine en el cual se realizó el proceso de corrección Geométrica, mediante el cálculo del modelo Matemático para la rectificación, siendo el escogido la transformación Polinomial de Segundo Orden con los residuales (en X y Y) el error medio cuadrático.

6.3.2.2 Corrección radiométrica

La corrección radiométrica se define por aquellas técnicas que modifican los niveles digitales (ND) originales con el fin de acercarlos a los que habrían de estar presentes en la imagen en caso de una recepción ideal por parte del sensor del satélite. En el proceso de corrección, se estimó los ND de estos píxeles erróneos con los ND de los píxeles vecinos. De acuerdo al fenómeno de la auto-correlación espacial, muchas variables geográficas tienden a presentar una fuerte asociación en el espacio (Campbell, 1981; Cliff y Ord 1973). Por lo tanto se utilizó el módulo de "Noise Reduction" del ERDAS aplicando filtros para la corrección de ND erróneos.

6.3.2.3 Interpretación Digital

Para realizar la interpretación Digital primero se realizó la interpretación visual de la imagen utilizando la combinación y composición del color y realces zonificados. La composición a color se generó en base asignación de color verdadero (3, 2, 1), un falso color (4, 3, 2), las combinaciones 4, 5, 2 y 4, 5, 3 para representar las coberturas de la tierra. Estas dos últimas combinaciones son muy utilizadas por el hecho de que se utiliza la banda 4 como la máxima representación de la biomasa, la humedad del suelo, en contraste de la banda 2 que discrimina de mejor manera la reflectancia de la clorofila, además ambas tienen un coeficiente de correlación muy bajo. Creación de la Leyenda: Se realizó utilizando la Metodología Corine Land Cover, en la que la cobertura terrestre se clasifica en clases mayores como nivel inicial identificando clasificadores para cada una de ellas, que aplicados nos presentan las subclases, los grupos y los tipos de cobertura.

6.3.2.4 Clasificación Supervisada

Este método se basa en la identificación de zonas o sectores donde se conoce con certeza el tipo de vegetación o unidad existente (nubes, cuerpos de agua, nieve, bosques húmedos, entre otros) o donde se puede identificar una diferencia

sustancial de la cobertura; posteriormente se toman “muestras” de los valores espectrales presentes en ese sitio. Este primer paso se conoce como “entrenamiento del equipo” y sirve para que el programa busque los valores espectrales similares a los de las “semillas” en el resto de la imagen.

Se seleccionaron muestras para definir los valores espectrales seleccionados, el software procedió a evaluar el resto de la imagen. Se tomó una muestra por unidad de vegetación en distintos lugares de la imagen, asegurando de esta manera, que la muestra sea representativa. Se tomaron muestras representativas de las coberturas existentes de la Metodología Corine Land Cover para que el sistema por medio de la clasificación supervisada generara los pixeles que cumplen con las muestras tomadas.

6.3.2.5 Transformación y generación de mapas temáticos

Para convertir el archivo raster a polígono y la posterior estructuración del mismo, se desarrollaron los siguientes pasos:

- ✓ Vectorización del archivo raster y convertirlo a polígono (Shapefile de ArcView).
- ✓ Recorte de la imagen vectorizada tomando en cuenta el límite del área de estudio.
- ✓ Estructuración de la tabla de atributos de la cobertura (shapefile)

6.4 Identificación de variables que afectan los cambios de cobertura

Para la identificación de variables que afectan los cambios de la cobertura en la zona pacífico norte, se consultaron documentos donde se relacionaran y se evidenciaran casos que conllevan a la pérdida de bosque en el lugar.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 ESTANDARIZACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN SECUNDARIA DE LAS COBERTURAS BOSCOSAS

Se obtuvieron 2 fuentes de información como se detalla en la tabla 2, una de ellas fuente IDEAM 2013I, con 5 períodos de análisis desde 1990 hasta 2012, sobresaliendo la categoría de Bosque estable (Ver Figura 4), también se obtuvo la fuente del proyecto Biochocó para el año 2014 del cual se extrajo la categoría de Bosque para lograr la unificación de un solo nombre y tipo de capa geográfica, para este caso se decidió escoger “Bosque”, este tipo de cobertura se escogió teniendo en cuenta la mayor cantidad de área de cubierta observada en la escena de la imagen (Ver Figura 5).

Tabla 2. Fuentes de información.

Año	Clasificación	Fuente
1990	Bosque Estable, Deforestación, sin Información	Deforestación IDEAM 2013I
2000	Bosque, No bosque, Sin Información	Deforestación IDEAM 2013I
2005	Bosque Estable, Deforestación, sin Información	Deforestación IDEAM 2013I
2010	Bosque Estable, Deforestación, sin Información	Deforestación IDEAM 2013I
2012	Bosque, No bosque, Sin Información	Deforestación IDEAM 2013I
2014	Bosque	Proyecto Biochocó 2014

Cabe resaltar que para la estandarización de estas fuentes se tuvieron en cuenta las definiciones que el IGAC realizó para cada uno de los tipos de cobertura como, Bosques estables que son coberturas constituidas por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más del 70% del área total de la unidad, y con una altura del dosel superior a 5 metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999) citado por (IGAC, 2010); los Bosques inestables son los

territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre el 5% y el 30% del área de la unidad de bosque natural (IGAC, 2010) y la categoría sin información indica que estos espacios o polígonos no clasifican de las categorías de coberturas descritas anteriormente ni en ninguna otra, a pesar de estar incluidos en los límites de la zona de estudio, por consiguiente no registran información. Para efectos de análisis en este estudio se contempló la categoría de Bosques y la categoría de bosques estables se interpretó como Bosque, para el caso de los años 1990, 2005 y 2010.

Figura 4. Imágenes satelitales fuente IDEAM

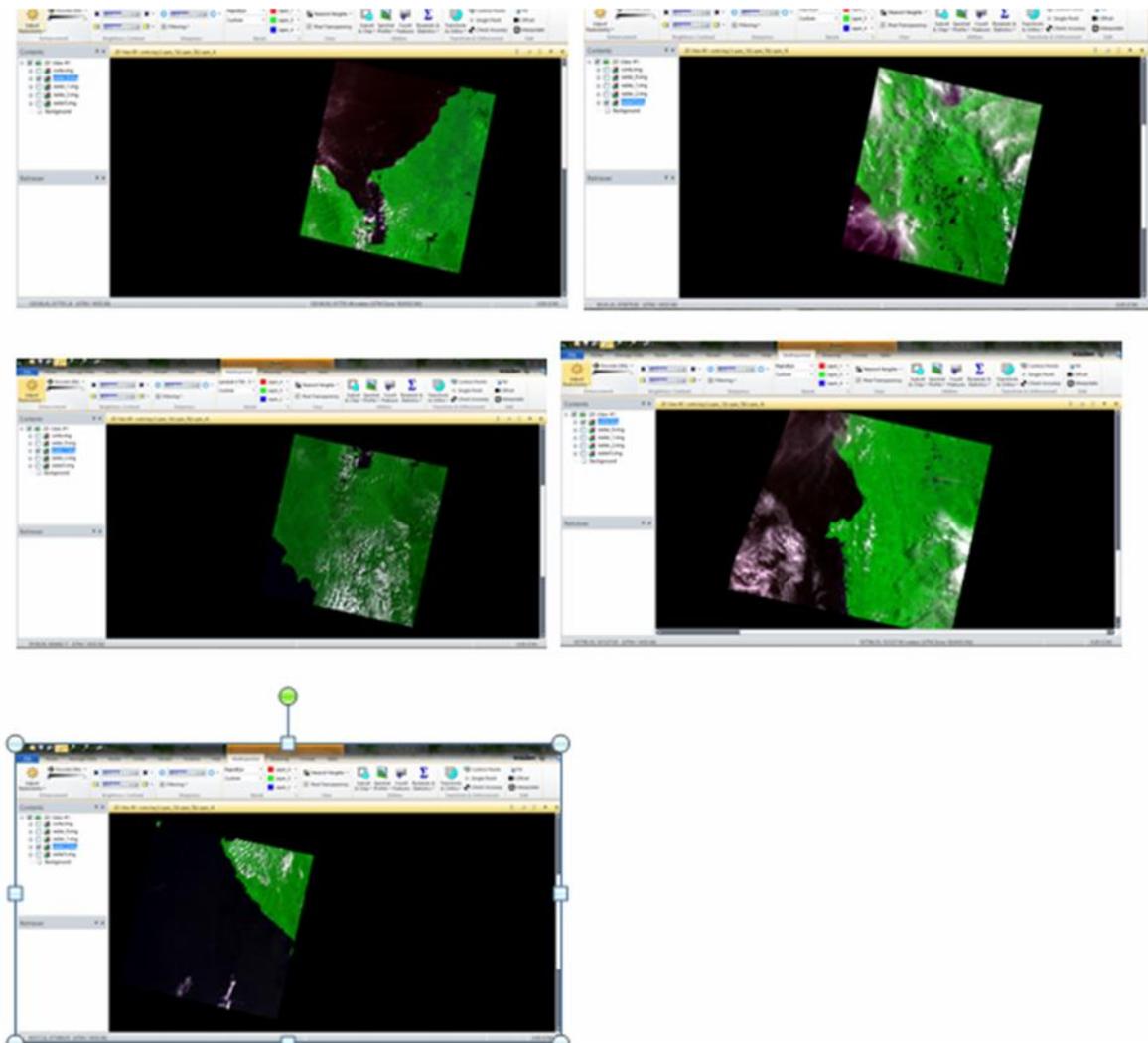
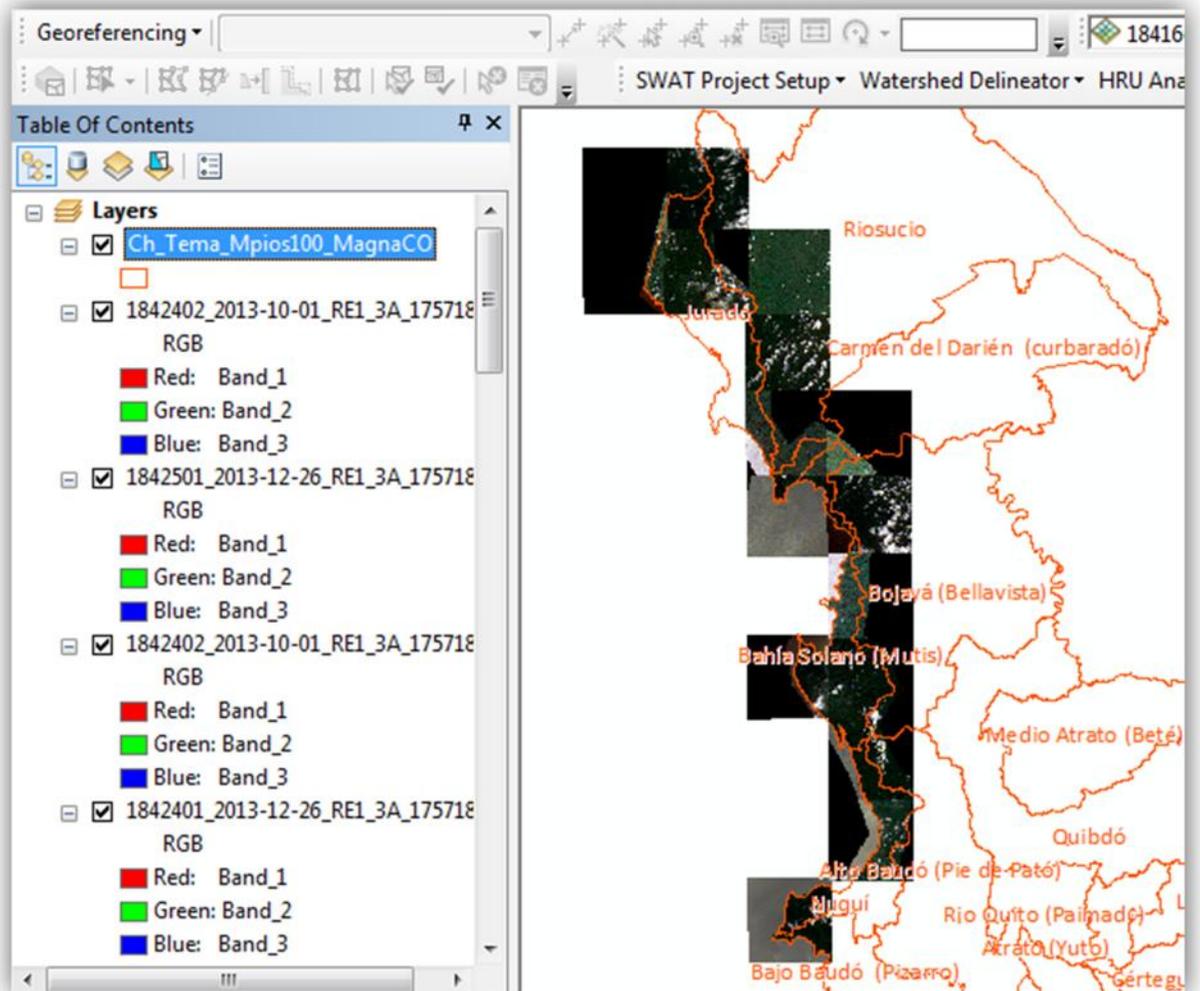


Figura 5. Imágenes satelitales fuente Biochocó



7.2 CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS COBERTURAS BOSCOSAS MEDIANTE INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

7.2.1 Cuantificación de la Cobertura

Se cuantificaron las coberturas vegetales según la información fuente del IDEAM para los años de publicación de la cartografía de 1990, 2000, 2010 y 2012 y

Biochocó 2014, ver tabla 2. Dicha tabla muestra el valor de disminución de cobertura como valor positivo y el aumento como valor negativo.

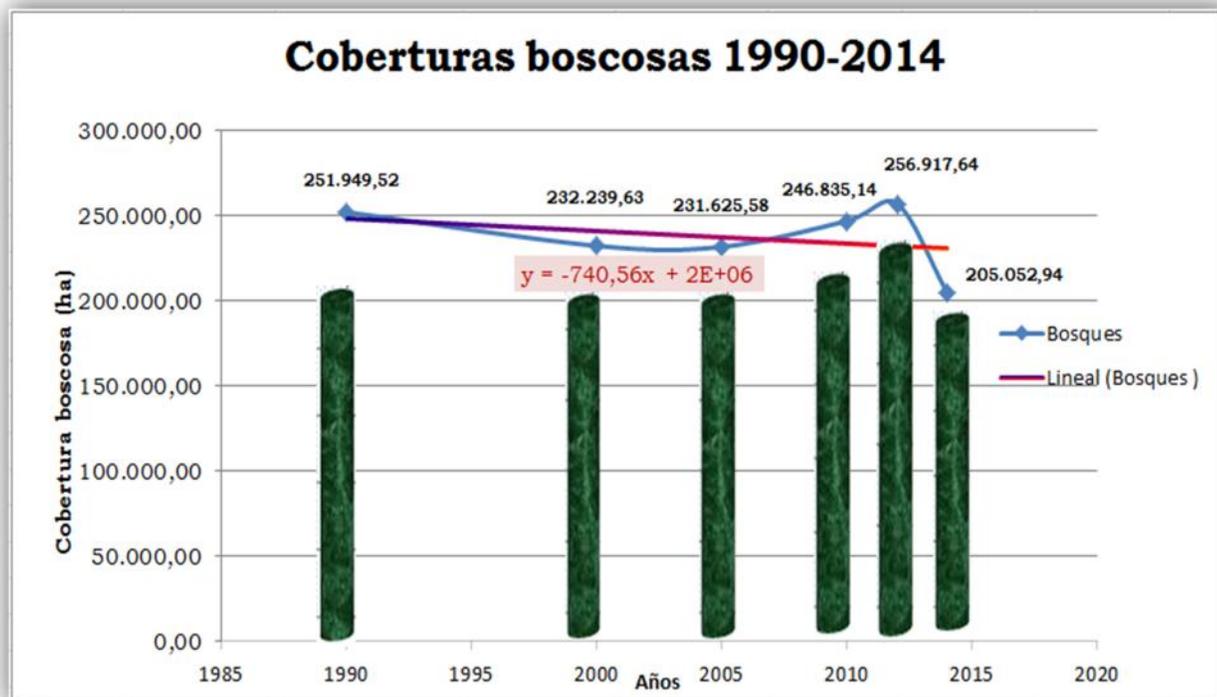
Se realizó la cuantificación de 251.949,52ha para el año de 1990, la cual entre la década del mismo año y el año 2000 tuvo una reducción de 19709.89ha, es decir un algo así como el área actual del municipio de Unión Panamericana; esta reducción presenta una tasa anual de reducción de 1978,9ha, algo equivalente a 1825 canchas de fútbol de dimensiones 90m*120m. Para el periodo de 2000-2005, hubo una reducción de 614,05ha, entre el año 2005 – 2010 hubo un aumento de 15.209,56ha, además para el año 2012 se presentó un aumento de 10.082,50ha, por último se observa que para el año 2014 este bosque presentó una disminución alarmante con 51.864,70ha, como se puede observar en la tabla 3 y la gráfica 1

Tabla 3. Coberturas Bosques periodo 1990 – 2014.

Coberturas	Bosques (ha)	Diferencia		%
		Disminución	Aumento	
1990	251.949,52			
2000	232.239,63	19.709,89		7,82
2005	231.625,58	614,05		0,26
2010	246.835,14		-15.209,56	-6,57
2012	256.917,64		-10.082,50	-4,08
2014	205.052,94	51.864,70		20,19

Fuente: IDEAM, Diagramado Equipo SIG - IIAP

Gráfica 1. Tendencia de coberturas boscosas 1990-2014

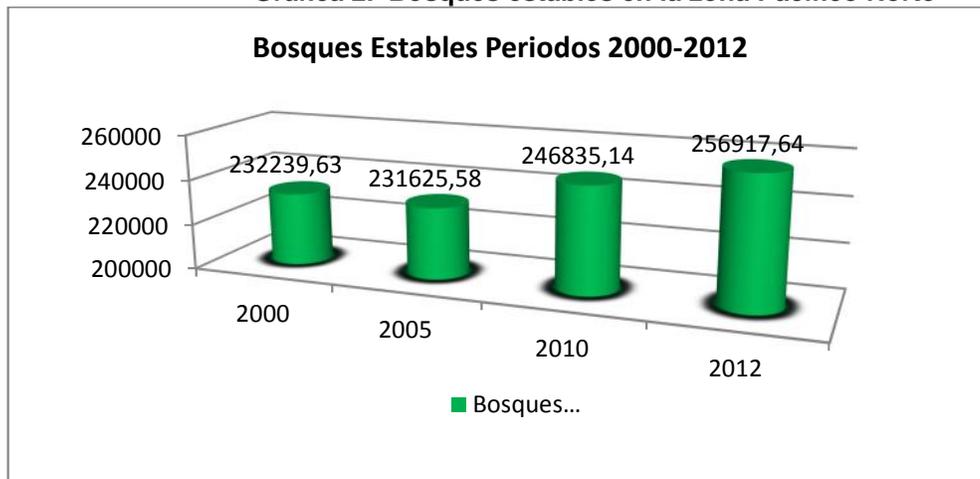


Fuente: IDEAM, diagramado SIG IIAP

7.2.2 Análisis Multitemporal de Coberturas Boscosas

El análisis multitemporal para el período entre 2000 – 2012, muestra una tendencia al incremento de la cantidad de la cobertura boscosa, siendo el año 2005 en donde se presentó un menor valor con 231.625,58ha y un mayor valor en el año 2012 con 256.917.64ha, como se muestra en la Gráfica 2.

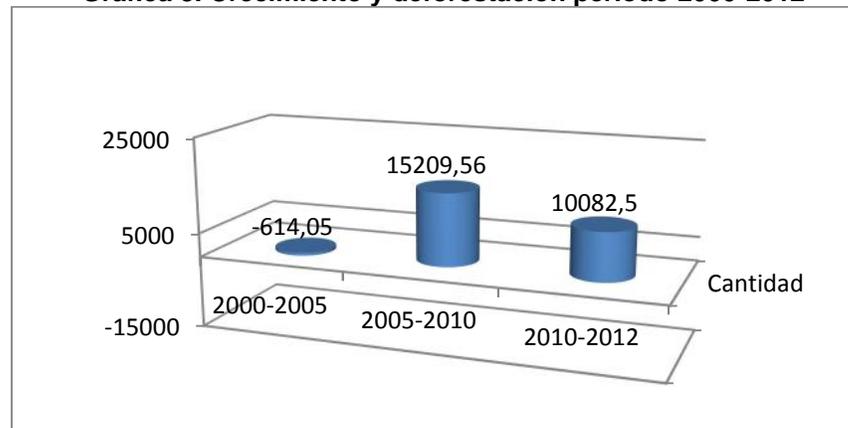
Gráfica 2. Bosques estables en la zona Pacífico Norte



Fuente: IDEAM, Diagramado por el Equipo SIG - IIAP

La cuantificación de la cobertura boscosa muestra que los bosques llamados estables, por su formación, presentan tendencia ascendente a pesar que en el periodo 2000 - 2005 disminuyó la cantidad de bosques en 614,05ha, para el período 2005 - 2010 fue donde más ascendió con un valor de 15.209,56ha y el periodo 2010 - 2012 con 10.082,5ha. Su relativo crecimiento puede ser debido al rango de periodo de 2 años (2010 – 2012), comparado con el mayor rango de los periodos anteriores de 5 años. Ver Gráfica 3.

Gráfica 3. Crecimiento y deforestación periodo 2000-2012



Fuente: IDEAM, Diagramado por el Equipo SIG - IIAP

7.2.3 Coberturas 2010-2012-2014

El análisis Multitemporal de las coberturas 2010 – 2012 del área de las imágenes mostró que el 22,76% $((196.678,16/246835) \times 100)$ es error de toponimia de las fuentes de información, por lo tanto se tomó como área total de superposición de cobertura boscosa el valor de 196.6678,16ha, de los cuales el 97,11% de la cobertura boscosa se mantuvo, el 1,44% es decir 2.836,34ha cambió su cobertura o se deforestó y el 1,45 % es decir 2.847,74ha se regeneraron en diferentes sitios dentro de esta zona Pacífico Norte. Ver tabla 4.

Tabla 4. Cobertura de cambios de cobertura Boscosa 2010-2012

Cobertura	Cobertura	Área (ha)	Porcentaje
Bosque 2010		2836,34	1,44
	Bosque 2012	2847,74	1,45
Bosque 2010	Bosque 2012	190994,08	97,11
Total		196678,16	100,00

Fuente: Equipo SIG IIAP

Según los datos mostrados de la cuantificación de la cobertura boscosa de generación y de deforestación son casi equivalentes, tan sólo difieren de 11,4 hectáreas lo que explica la cantidad que se deforesta similar a la que se regenera, es decir el bosque mantiene su equilibrio.

El análisis Multitemporal de las coberturas 2010 – 2014 del área de las imágenes mostró que el 16,6% $((205.052,94/246.835) \times 100)$ es error de toponimia de las fuentes de información, por lo tanto se tomó como área total de superposición de cobertura boscosa el valor de 205.052,94ha, de los cuales el 80,34% de la cobertura boscosa se mantuvo, el 14,18% es decir 29.086,23ha cambió su cobertura o se deforestó y el 5,74 % es decir 11.222,52ha se regeneraron en diferentes sitios dentro de esta ventana Chocó Norte. Ver tabla 5.

Tabla 5. Cambios de Cobertura Boscosa 2010-2014

Cobertura	Cobertura	Área (ha)	Porcentaje
Bosque 2010		29086,23	14,18
	Bosque 2014	11222,52	5,47
Bosque 2010	Bosque 2014	164744,19	80,34
Total		205052,94	99,99

Fuente: Equipo SIG IIAP

El análisis muestra que el equilibrio del bosque no es el mismo, tiende a crecer la zona deforestada casi al doble del área generada, y triplica el porcentaje con respecto al total analizado.

El análisis Multitemporal de las coberturas 2012 – 2014 mostró que el 16,6% $((205.173,64/246.835) \times 100)$ es error de toponimia de las fuentes de información, por lo tanto se tomó como área total de superposición de cobertura boscosa el valor de 205.052,94ha, de los cuales el 80,24% de la cobertura boscosa se mantuvo, el 14,24% es decir 29.206,23ha cambió su cobertura o se deforestó y el 5,52 % es decir 11.331,82ha se regeneró en diferentes sitios dentro de esta zona. Ver tabla 6.

Tabla 6. Cambios de cobertura Boscosa 2012-2014

Cobertura	Cobertura	Área (ha)	Porcentaje
Bosque 2012		29206,94	14,24
	Bosque 2014	11331,82	5,52
Bosque 2012	Bosque 2014	164634,88	80,24
Total		205173,64	100,00

Fuente: Equipo SIG IIAP

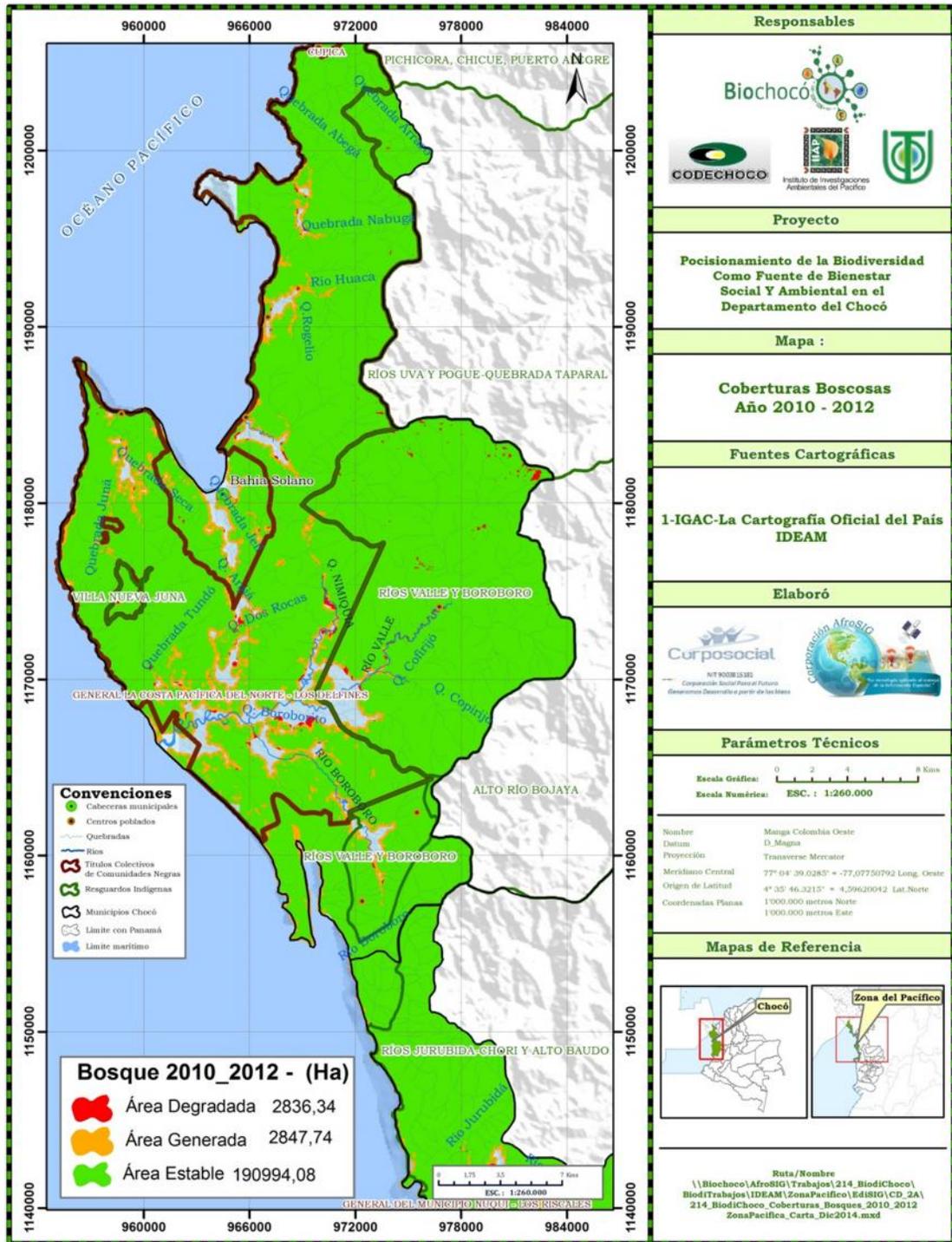
No obstante el análisis mostró que en la comparación de las coberturas boscosas de 2010-2012, las zonas de área degradada y área generada se aprecian mayormente sobre los bordes del área de influencia de los Ríos y las Quebradas que sobre las zonas boscosas internas u homogéneas. La presencia sobre estas zonas específicas se explica por las actividades que las comunidades hacen y /o ejercen en los alrededores de las fuentes hídricas.

La sub zona tomada está ubicada sobre la cabecera del municipio de Bahía Solano y los alrededores de las Quebradas Boroborito, Ríos Valle Boroboro; El mapa de la figura 8 en sus convenciones de color Rojo el área degradada, de color naranja el área generada y de color Verde el bosque estable. Se muestra la presencia de área generada en los bordes de la zona aledaña de la cabecera Municipal, Ciudad Mutis, en los alrededores de la Quebrada Huanca, Rogelio, más al norte sobre la quebrada Nabugá; Al occidente de la Cabecera municipal sobre la Quebrada Seca.

Una zona de bastante presencia de área generada y deforestada se aprecia sobre el valle de la Quebrada Boroborito, en territorio del Consejo comunitario de los

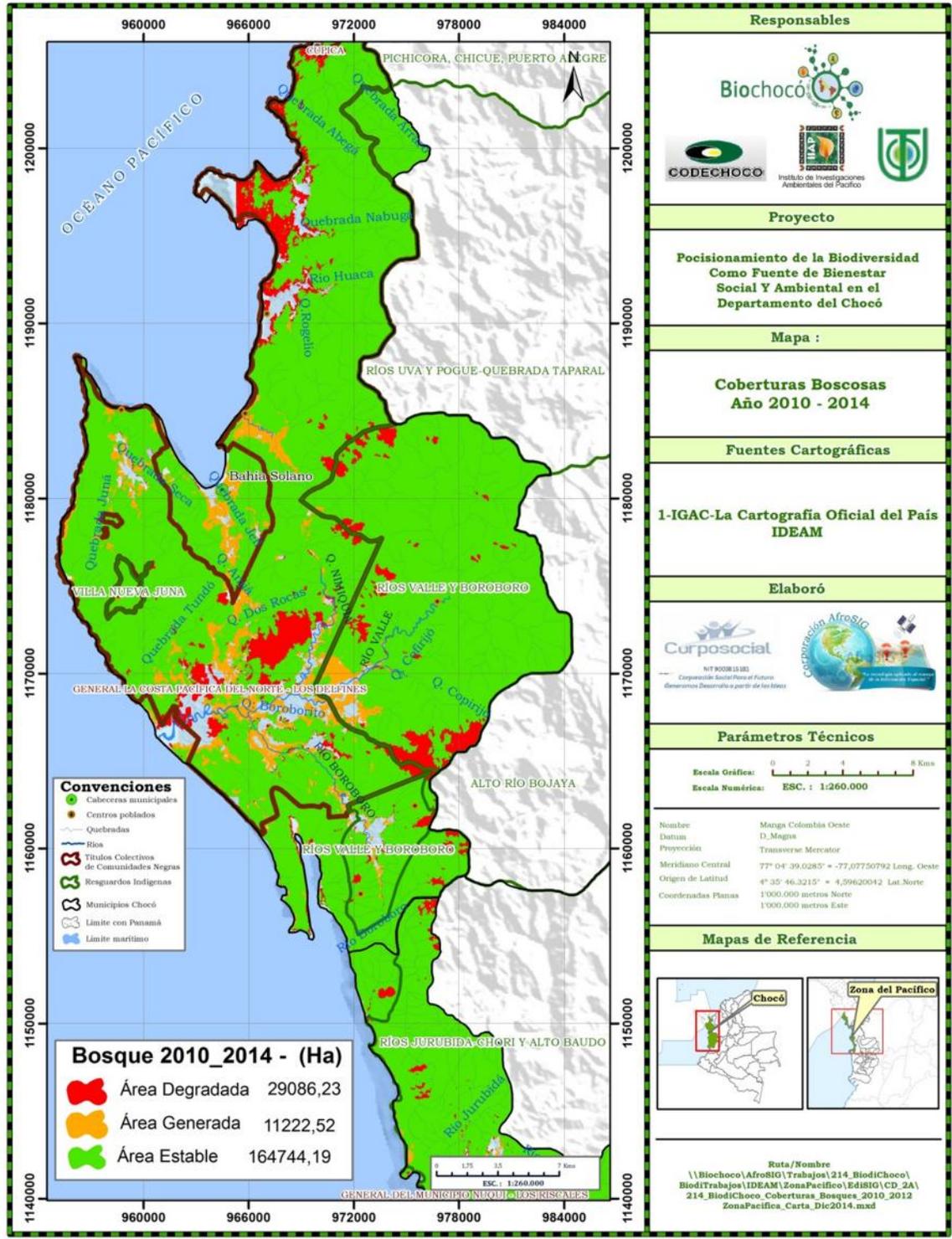
Riscales, en la que las zonas deforestadas presentan zonas rojas más considerables y cuantificables por el equipo SIG del IIAP. Se aprecian zonas de deforestación en zonas específicas, en la zona alta del Río Valle, en territorio de los ríos del Valle y Boroboro. Ver Figura 6. Para el análisis de la multitemporalidad al momento de incorporar el año 2014, se evidenció que las áreas deforestadas no están mayormente sobre los borde de los Ríos sino sobre áreas boscosas en las zonas amortiguadoras de la cuenca del Río Valle y en las zonas intermedias. Ver figura 7.

Figura 6. Zona de Análisis del período 2010-2012



Fuente: Equipo SIG-IIAP

Figura 7. Zona de Análisis del período 2012-2014



Fuente: Equipo SIG-IIAP

8. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES QUE AFECTAN EL CAMBIO DE COBERTURA

Para la identificación de variables que afectan el cambio de cobertura se rastrearon estudios y se realizaron consultas en diferentes fuentes de búsqueda, se estableció e identificó las siguientes variables.

8.1 EXPLOTACIÓN FORESTAL.

La costa Pacífica del departamento del Chocó se caracteriza por ser un lugar que posee una selva tropical húmeda natural, con gran variedad de especies, que van desde maderas de gran resistencia a maderas de baja resistencia y toda su gama intermedia, también diversidad de tamaño y finura de estas. La extracción selectiva de especies maderables de valor comercial (Abarco, Aceite, Algarrobo, Sande, Amargo, Bálsamo, Caimito, Chanul, Choibá, Granadillo, Guayacán Polvillo, Jutahy, Níspero, Oquendo, Tangare y Virola) ha sido identificada como la de mayor impacto para el área, por los impactos sobre los ecosistemas y el nivel de extracción actual. Dentro de los efectos están la pérdida de servicios ecosistémicos como la eliminación del recurso forestal, la alteración de la capa orgánica del suelo, erosión del suelo, alteración del clima local, la alteración de la estructura y composición del bosque.

En Juradó, los aprovechamientos forestales ilegales, están impidiendo la continuidad y el mantenimiento de los procesos de regeneración natural poniendo en peligro la persistencia de valiosas especies de alto valor comercial y originando presión sobre algunas especies como el Abarco, Caoba y Cedro (IIAP & CODECHOCO 2008). La movilización de volúmenes de metros cúbicos de maderas como el Abarco (21.413 m³), el Cedro con 2.359 m³, el Roble 299 y el Chanó con y 170 m³, muestran la presión a la que están siendo sometidas estas especies y el grado de amenaza del bosque en dicho municipio. A pesar de la pérdida de grandes extensiones de selva a causa de la actividad forestal aún se siguen adjudicando licencias ambientales para la explotación de este importante recurso.

En materia de superficie de cobertura de manglar, el municipio de Bahía Solano, entre los de la costa pacífica chocoana, es el que menos aporta a la cobertura total de los manglares en el departamento del Chocó, la presencia de este ecosistema se restringe a 1.070 hectáreas con grados de intervención altos, La

mancha integrada más grande de manglar se encuentra sobre el extremo norte del municipio en cercanías al corregimiento de Cupica, en límites con el municipio de Jurado. Dada la corta distancia entre la población y el ecosistema, éste ha sido sometido a fuerte presión antrópica arrojando como resultado que la mayor parte de él, presente altos y medianos niveles de intervención (Klinger 2005).

A pesar de lo anterior en Bahía Solano se presenta una gran abundancia de recursos forestales y de biodiversidad, lo que hace que la zona sea atractiva para la extracción de recursos y la inversión extranjera; la multinacional canadiense REM Forest, inicio la explotación de cinco millones de metros cúbicos de madera durante 15 años, tiempo en el cual se contempla la explotación de 44.596 hectáreas de selva, donde se han extraído especies de alto valor comercial como el Abarco, Aceite, Algarrobo, Sande, Amargo, Bálsamo, Caimito, Chanul, Choiba, Granadillo, Guayacán Polvillo, Jutahy, Níspero, Oquendo, Tangare y Virola, muchas de estas listadas en los libros rojos de Colombia con alguna categoría de amenaza Hawkins et al (2014).

Pérdida del Manglar: Sin lugar a dudas una de las principales amenazas que presenta la costa Pacífica colombiana es la pérdida de cobertura boscosa en cada uno de los ambientes donde este converge. En este contexto, el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico y la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo del Chocó (2004) en un diagnóstico realizado a los manglares de esta región documentan que el municipio de Nuquí tiene una totalidad de 3.002,4 hectáreas en ecosistema de manglar, más del 59% de esta superficie se encuentra en altos niveles de intervención; por su parte el municipio Bahía Solano con una superficie de bosques de manglar de 837.7 hectáreas, de las cuales 653.1has correspondiente al 77.96% presentan altos niveles de intervención.

8. 2 AMPLIACIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA Y GANADERA

Al igual que la explotación forestal, la agricultura y la ganadería practicada de forma irracional y sin asistencia técnica, causan consecuencias graves a los bosques donde se practica, lo anterior obedece a que estas actividades se desarrollan mayormente en suelos de vocación forestal, además es una actividad itinerante que por las mismas condiciones del suelo, los degrada rápidamente y exige en corto plazo nuevas tierras, lo que implica nuevamente la fragmentación del bosque. La ganadería extensiva representa casi el 60% de la deforestación en

el país. Incluye tanto a las personas que mantienen ganado con fines productivos, como aquellas que buscan asegurar la tenencia de la tierra mediante la introducción de ganado.

En el Municipio de Bahía Solano para el año 2008, se reportó la existencia de 2.706 cabezas de ganado con una participación del 2.38% del total Departamental (Castillo 2008), Las cifras referentes al número de cabezas de ganado aumentó para el 2013 a 2.752 cabezas de ganado y una participación del 1,6% del total departamental; aunque los municipios costeros de la costa chocona no presentan extensas áreas de bosque que se puedan dedicar a actividades productivas por las condiciones del suelo Juradó participa con 538 cabezas, mientras que Nuquí participa con 482 (Castillo 2013), actividades como la agricultura combinado con la ganadería ocasionan consecuencias.

8.3 USO DE CULTIVOS ILÍCITOS

El cultivo de uso ilícito, al igual que la expansión de la frontera agrícola y ganadera, la minería y la explotación forestal, causa daños graves e irreversibles a la cobertura vegetal que se ve afectada por la siembra de estos.

Esto obedece a la alta rentabilidad de estos en regiones donde no hay presencia del estado, donde la existencia de grupos armados ilegales garantizan la seguridad de los cultivos, donde no existen vías de comunicación, el estar localizados en zonas aisladas de difícil acceso para la autoridades, la existencia de abundantes cuerpos de agua que les permita su uso para la siembra, producción y disposición de residuos producto de los procesos de fabricación de las drogas como el uso de estas corrientes para introducción de las sustancias químicas básicas para la producción, el estar localizados en zonas de frontera donde el ingreso y transporte de insumos es más fácil y en regiones donde su índice de población es muy bajo, es importante recalcar que ni los parques naturales de Colombia se vieron excluidos de estas prácticas. Un elemento fundamental es la presencia de áreas con abundante cobertura vegetal que dificulte la localización de los cultivos como de los laboratorios. (Felipe & Sotelo Rojas)

9. CONCLUSIONES

La ventana del Pacífico presentó tres momentos marcados de técnicas y/o tecnologías de análisis de información, la presentada para el año 1990 que presentó procedimientos poco eficientes y la no cuantificación del total del área de análisis; la presentada para el periodo 2000-2005-2010-2012 que presentó un comportamiento estándar de proceso de generación de cartografía incorporando la técnicas de Interpretación Satelital con imágenes con resoluciones por encima de los 30m lo que determina una escala aproximada final de 1:100.000 como escala final de trabajo; y la presentada para el año 2014, en la que se mejoró el procedimiento e insumos de la Interpretación Digital con imágenes de sensores activos y pasivos con tamaños de pixel de 6, 5 y 3 m, lo que permite una escala final de trabajo de 1:25.000 y hasta mayores.

El análisis de multitemporalidad para los periodos 2010-2014 y 2012-2014, permitió la visualización y cuantificación de las áreas degradadas y/o deforestadas, lo que determinó un grado de degradación de la cobertura boscosa.

Las diferencias de los porcentajes de permanencia de bosques en periodo 2010-2012 de 97,11% al periodo 2012-2014 de 80,34%, en primera instancia se debe a que las fuentes de información para el período 2014, las Imágenes del Sensor RApiEye con tamaño de pixel 5m da mayor eficiencia y permite la interpretación digital a escala 1:25000, mientras que las fuentes de información para el periodo 2013-2012 tuvo información de sensores como el Landsat, el Spot, entre otros que tiene tamaño de pixel mínimo de 30m, restituyendo a escala 1:100.000

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis multitemporales a las demás zonas del pacífico colombiano ya que se explota y se utiliza de manera irracional e inadecuada el bosque poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de algunas familias y la oxigenación que brinda estos recursos en el desarrollo de la vida del ser humano.
- También se recomienda que las entidades competentes inviertan en recursos tanto de personal, como hardware, software y datos (imágenes de satélite) de buena calidad para el procesamiento y análisis de las demás regiones del pacífico, que permitan determinar con mayor precisión, veracidad y menor error los cambios que ha sufrido la cobertura, causa de prácticas inadecuadas en el manejo de los recursos naturales (bosques).
- Por último se recomienda analizar los cambios climáticos que ha venido sufriendo el país en los últimos años y estudiar estas zonas como principal fuente abastecedora de recursos en un futuro, ya que posee un gran potencial de biodiversidad y gran cantidad de recurso hídrico que si no se conservan, se cuidan o se les da el manejo adecuado tienden a desaparecer por la mala administración, causando repercusiones y consecuencias en la vida del ser humano por lo expuesto anteriormente.

11. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Del Castillo, J., & Agredo Cardona, G. A. (2013). Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino caso la cuenca urbana San Luis Manizales. Manizales: 1909-2474.

Cárdenas Chávez, A. (2007). monitoreo de cambios en la cobertura vegetal del santuario de flora y fauna de iguaque y su area de influencia, entre 1986 y. Bolívar.

Coronado, L. 2001. Comprobación de técnicas de procesamiento de imágenes del sensor remoto ETM+ de Landsat 7, en la identificación de Bosques Secundarios en la Región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis Bachiller Ingeniería Forestal. Cartago, C.R, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 98 p.

CHUVIECO, E (2002): Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona: Ed. Ariel.

Díaz, M.J., & Gast, H. F. (2009). El Chocó Biogeográfico de Colombia: un lugar único en el planeta. I.M (eds.). Banco de Occidente.

Fallas, J. 2003. Teledetección espacial. (en línea). Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA); Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe (PRMVS). (en línea). Universidad Nacional (UNA). Heredia, CR. Consultado el 18/10/09. Disponible en: http://www.icomvis.una.ac.cr/telesig/pdf/teledetección_p1.pdf

Felipe, P. U., & Sotelo Rojas, H. (s.f.). Recuperado el 19 de Octubre de 2015, de http://www.umng.edu.co/documents/10162/745281/V3N2_8.pdf

Fonseca, J., & Gómez, S. M. (2013). Análisis multitemporal mediante imágenes satelitales Landsat, caso de estudio: cambio de área laderas de la ciénaga de Tumaradó parque natural los Katíos. Bogotá.

GUEVARA MANCERA, O. Restauración de las Áreas de Manglar en el Pacífico continental de Colombia: Proyecto PD 171/91 Rev. 2 (F) Fase II Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y Desarrollo de los Manglares en Colombia . MINAMBIENTE-ACOFOR-OIMT. Informe Técnico No. 21. Santa fe de Bogotá: 1998. 1-56 p.

Ideam. (4 de Noviembre de 2014). Ideam.com. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>

IIAP & CODECHOCO (2008), implementación de estudio base para especies forestales amenazadas en el departamento del choco.

LOBATÓN, G., POSADA, V., (2004): Clasificación de cobertura vegetal de la Sierra Nevada de Santa Marta a partir de imágenes de satélite LANDSAT2001, 2002, 2003. Informe de avances. Fundación PRO-Sierra Nevada de Santa Marta. Colombia.

MARTÍNEZ, R., CALDERÓN, M., CAMACHO, N., MONTOYA, A., LUQUE, D., SOMOZA, A., TEJADA, I., (2006): Programa de Vigilancia de la Cobertura Vegetal Región Oriental de la Cuenca del Canal. Convenio de Cooperación ANAM – ACP Monitoreo de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá MUSEO DE HISTORIA NATURAL NOEL KEMPF MERCADO (2007): Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra para el Departamento de Santa Cruz –2005. Memoria Explicativa. Prefectura del Departamento de Santa Cruz. Bolivia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012), Informe de Gestión al Congreso.

Ministerio de Educación Nacional. (7 de 9 de 2015). Colombiaaprende.com. Obtenido de <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/etnias/1604/channel.html>

Natural Resources Canada. (22 de 2 de 2015). nrcan.gc.ca. Obtenido de <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/tutorial/tutore.html>

Pérez, C., & Muñoz, L. (2006). Teledetección: Nociones y Aplicaciones. Universidad de Salamanca: ES.

PONCE, C (2008): Análisis de cambio de cobertura vegetal y fragmentación en el corredor de conservación comunitaria El Ángel - Bosque Golondrinas, provincia

del Carchi (1996 - 2005). Tesis de ingeniería. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción – ESPE. Quito.

Rodriguez, O. P. (2012). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del distrito central años 1987-2006. Tegucigalpa.

scanterra. (12 de Noviembre de 2015). scanterra.com. Obtenido de http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html

Sobrino, J. (2000). Teledetección. En U. d. Valencia. Valencia: ES.

Van der Hammen, T., & Rangel, O. (1997). El estudio de la vegetación en Colombia: recuento histórico-tareas futuras. *En* J.O. Rangel., P.D. Lowy., & M. Aguilar (eds.). Colombia Diversidad Biótica II. 17-57.