

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniería Ambiental

TEMA:

**Evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa
Cruz, Galápagos.**

AUTOR:

Deniz Estefanía Barreto Álvarez

DIRECTOR:

MSc. Marco Gerardo Heredia Rengifo

Puyo – Ecuador

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Deniz Estefanía Barreto Alvarez, declaro que el presente Trabajo de Titulación **“Evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa Cruz, Galápagos”**, es de mi propia autoría y los resultados obtenidos del mismo son legítimos y originales. El texto expuesto en el documento proviene de fuentes de autores que se encuentran debidamente citados y referenciados de acuerdo a la NORMA APA, sexta edición.

Como autor del presente trabajo asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos presentes en este Trabajo de Titulación.

Puyo, 26 de julio de 2019

Deniz Estefanía Barreto Alvarez

C.I. 2000113973

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Por medio del presente, Yo, Marco Gerardo Heredia Rengifo, con número de cedula 0502577042, certifico que la egresada Deniz Estefanía Barreto Álvarez, realizo el trabajo de investigación y desarrollo titulado “**Evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa Cruz, Galápagos**” previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental bajo mi supervisión.

MSc. Marco Gerardo Heredia Rengifo

DIRECTOR PRINCIPAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

MSc. María De Decker

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

MSc. Mayra Espinosa

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dr. Carlos Bravo PhD

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Creo firmemente que, a las personas buenas les pasa cosas buenas, y es lo que deseo para cada uno a los que tengo que agradecer en esta ocasión: A mis padres, hermanas de manera especial, y sobre todo a mi novio por ser esa persona alcahueta de mis anhelos y freno de mis descarríos, mi mejor regalo fue haber sido formada por una familia, que me enseñó a templar mi carácter para las cosas duras de la vida, pero también amoldó mi corazón para no olvidarme que soy humana, me enseñó que llorar siempre está permitido y que el reír es indispensable en la vida. A mis buenos amigos (Theofilos Toulkeridis, Oswaldo Padilla, Rodolfo Salazar, Christian Sánchez, Sisa Guamán, Diego Reyes, Ale Torres, Karel Diéguez, Julio Cesar Vargas Burgos), ninguno de ellos imaginará lo mucho que aportaron a mi vida, los llevo siempre en mi corazón, personas que han sido mis guías académicos y me atrevo a decir que también amigos, por su sencillez y don de gente.

A todos los que he mencionado un agradecimiento sincero, y cuenten con que siempre estarán presentes en mis oraciones.

Deniz Estefanía Barreto Álvarez

DEDICATORIA

Dedico esta experiencia de vida y trabajo de investigación a todos aquellos que caminaron junto a mí en este proceso y me ayudaron a ser una buena profesional, pero sobre todo mejor persona, considero que esta dedicatoria es solo un pequeño detalle en relación al enorme regalo que recibí de todos ellos.

Deniz Estefanía Barreto Álvarez

RESUMEN

Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo, en la isla Santa Cruz, Galápagos, 2016 – 2019. permite detectar cambios entre diferentes fechas de estudio, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio. El propósito del estudio fue evaluar el cambio de uso del suelo en la isla Santa Cruz en el período 2016 – 2019, a través de imágenes satelitales, a fin de determinar el estado de fragmentación del paisaje. Los cambios de usos de suelo fueron derivados de la tabulación cruzada de imágenes Landsat 8, con una resolución espacial de 30 metros tomadas en octubre de 2016, marzo de 2019, utilizando los programas PCI, IDRISI y ArcGIS. Las categorías definidas fueron: 0 Nubes; 1 Mosaico Agropecuario/Bosque; 2 Vegetación en crecimiento; 3 Infraestructura; 4 Suelo. Los principales resultados muestran que los cambios de uso de suelo están determinados por la degradación antrópica, principalmente en la conversión de la vegetación nativa a espacios agrícolas y la expansión de la ganadería. El crecimiento demográfico y los monocultivos van ejerciendo presión sobre el bosque, transformando zonas de vocación forestal a cultivos agrícolas. Los cambios de cobertura han significado un paisaje fragmentado con diferentes grados de perturbación, que conllevan a una disminución de la superficie de hábitats naturales, reducción del tamaño de los fragmentos y aislamientos de los mismos.

Palabra clave: Bosque, cobertura, Landsat, teledetección

ABSTRACT

Multitemporal analysis of land use change, in Santa Cruz Island, Galapagos, 2016 - 2019. allows to detect changes between different dates of study, deducing the evolution of the natural environment or the repercussions of human action on the environment. The purpose of the study was to evaluate the change in land use on Santa Cruz Island in the 2016-2019 period, through satellite images, in order to determine the state of fragmentation of the landscape. The changes in land use were derived from the cross tabulation of Landsat 8 images, with a spatial resolution of 30 meters taken in October 2016, March 2019, using the PCI, IDRISI and ArcGIS programs. The defined categories were 0 Clouds; 1 Agricultural / Forest Mosaic; 2 Growing vegetation; 3 Infrastructure; 4 floor. The main results show that changes in land use are determined by anthropic degradation, mainly in the conversion of native vegetation to agricultural spaces and the expansion of livestock. Demographic growth and monocultures are putting pressure on the forest, transforming areas of forest vocation into agricultural crops. The changes in coverage have meant a fragmented landscape with different degrees of disturbance, which lead to a decrease in the surface of natural habitats, reduction of the size of the fragments and their isolation.

Keyword: Coverage, forest, Landsat, remote sensing

CONTENIDO

CAPITULO I	1
1. INTRODUCCION	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. OBJETIVO GENERAL	4
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CAPITULO II.....	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1. Análisis multitemporal del uso del suelo.	5
2.2. Conceptualizaciones y herramientas utilizadas para estudios mutitemporales	6
2.3. Programas para el análisis multitemporal de la dinámica espacial	11
CAPITULO III	12
3. MATERIALES Y METODOS	12
3.1. LOCALIZACIÓN	12
3.2. MÉTODO	13
CAPITULO IV.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1. Categoría Mosaico agropecuario y Bosque:	18
4.2. Categoría Vegetación en Crecimiento	19
4.3. Categoría Infraestructura	19
CAPITULO V	26
5.1. CONCLUSIONES	26
5.2. RECOMENDACIONES:	26
CAPÍTULO VI.....	27
6.1. REFERENCIAS.....	27
CAPITULO VII	37
7.1. ANEXOS.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bandas del Satélite Landsat 8.....	7
Tabla 2. Imágenes satelitales utilizadas en el análisis multitemporal de la isla Santa Cruz, Galápagos.	17
Tabla 3. Valores resultantes del procesamiento de las imágenes satelitales de los años 2016 – 2019	18
Tabla 4. Resultados de la Tabulación cruzada	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Firma espectral de la vegetación	9
Figura 2. Área de estudio para la evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa Cruz, Galápagos	12
Figura 3. Diagrama de procesos para la evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa Cruz, Galápagos.....	13
Figura 4. Raster resultante de la técnica tabulación cruzada de la Isla Santa Cruz.....	17
Figura 5. Isla Santa Cruz, Galápagos. Mapa que ilustra diferentes zonas de vegetación, el área rural-agrícola, que se encuentra en el centro de la isla, y el área urbana (ciudad de Puerto Ayora). También se muestra un resumen de las pistas de movimiento (líneas) de tortugas gigantes en 1 año para las especies del sudoeste (<i>Chelonoidis porteri</i>) y del sureste (<i>Chelonoidis donfaustoi</i>).	18
Figura 6. Evaluación multitemporal del uso de suelo en la Isla Santa Cruz - Galápagos	21
Figura 7. Dinámica de la infraestructura en Santa Cruz: Período 2006 – 2018	22
Figura 8. A) Raster resultante banda infrarroja 2016 B) Raster resultante del NDVI 2019	25
Figura 9. Vivero forestal del Parque Nacional Galápagos	37
Figura 10. Siembra de las plantas con las tres tecnologías.....	37
Figura 11. Abastecimiento de agua en cada una de las tecnologías y con su respectivo etiquetado.	38
Figura 12. Proceso metodológico multitemporal	38

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

Generalmente los estudios del cambio de uso del suelo forestal evalúan la velocidad de la deforestación/reforestación, determinan su extensión geográfica y entienden cuáles son las causas sociales y económicas de los cambios, en las escalas global, regional y local (Skole, 1994). El análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvieco E. , 1996). Los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997). La actividad humana ha sido la gran transformadora del paisaje en los últimos 300 años (Aguayo, 2009). Por ejemplo los bosques y selvas de América Latina para el año 2000 se habían reducido en más de un 50 % de su cobertura original; en particular, países como Brasil, México y Costa Rica fueron el centro de las mayores alteraciones (Velázquez, 1997).

El gobierno ecuatoriano declaró a las Islas Galápagos como Parque Nacional el 4 de julio de 1959. El 8 de septiembre de 1978, la UNESCO declaró a Galápagos Patrimonio Natural de la Humanidad por su prestigio científico y de apoyo a los esfuerzos de conservación del Parque Nacional. Galápagos fue declarado Reserva Marina en el año de 1998 con una superficie de 133×10^5 ha, Reserva de la Biosfera en el año 1984 en un área (terrestre y marina) de 14.761,844 ha (SNAP, 2015).

En el 2011 las Islas Galápagos recibe 185.028 de visitantes anuales al Parque Nacional Galápagos (PNG), en el 2013 con 204.395 visitantes, mientras que el 2018 tuvo un incremento de 275.817 visitantes, (Cruz, 1996). El crecimiento económico se ha producido, como consecuencia, de un crecimiento poblacional insostenible, una estratificación socioeconómica, malestar social, servicios públicos e infraestructura sometida a presión, aumento en el número de especies invasoras y numerosos conflictos con las metas de la conservación y autoridades. Con el aumento poblacional, se ha elevado los precios de la tierra, casas y productos locales, y multiplican el aumento en los gastos públicos por servicios, educación, salud, agua e infraestructura (Epler, 2012).

La isla Santa Cruz es la segunda en el PNG después de San Cristóbal, con una superficie de aproximadamente 55.800 ha. En su punto más alto el Monte Crocker, alcanza los 864 m. Se observan importantes cambios en el área agropecuaria, donde el 49% de las 14.841,3 ha de superficie total, han cambiado a otro tipo de cobertura vegetal debido a las especies invasoras en el año 1998, además se evidencia un proceso de cambio en el crecimiento y ocupación del territorio (Darwin, 2012).

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la Isla Santa Cruz en el periodo de 1987 – 2006 se han producido cambios drásticos en las zonas urbanas y rurales, la vegetación natural en la zona rural ha cambiado debido a las especies invasoras y en la zona urbana por el crecimiento de los centros poblados; la caída de las actividades agropecuarias produce un abandono de las tierras y consecuentemente una agresiva expansión de especies de plantas introducidas como la guayaba (*Psidium guajava*), mora (*Rubus ulmifolius*), saúco (*Sambucus nigra* L.), cascarilla (*Cinchona pubescens*), lantana (*Lantana camara* L.), cedrela (*Cedrela odorata* L.), laurel (*Cordia alliodora*) y maracuyá (*Passiflora edulis*), entre otras.

La producción agrícola no satisface la demanda local durante varios meses del año, y los comerciantes y mayores operadores turísticos traen vegetales, frutas, carne y derivados lácteos del Ecuador continental. El problema central del sector agropecuario es su falta de competitividad producida por la falta de rentabilidad de la agricultura, causada por una baja productividad que no satisface la demanda local de productos para el consumo existen diferentes factores que conducen al cambio del uso del suelo (PDOT, 2012) como: 1) El acelerado crecimiento del turismo, estimula el continuo aumento poblacional y degradación del ambiente (Oke *et al.*, 2017); 2) El incremento poblacional por la migración ha generado una crecimiento urbano-rural insostenible, estratificación socioeconómica, malestar social, servicios públicos e infraestructura sometidos a diferentes presiones, aumento en el número de especies invasoras, el aumento poblacional incrementa los precios de las tierras, casas y productos locales y multiplican el aumento en los gastos públicos por servicios, educación, salud, agua e infraestructura. 3) Necesidad de Vivienda, existe una demanda por espacio para vivienda causado por el crecimiento acelerado de la población, El proceso histórico migratorio, el crecimiento poblacional y la necesidad de vivienda refleja la presión en el uso del suelo y lo podemos apreciar en el Mapa del crecimiento urbano, donde en el corto tiempo de 28 años a partir de 1984 desbordó el

límite urbano de Puerto Ayora, con la nueva Urbanización El Mirador (Cleveland, 2009).

4) Conurbación y poblaciones dispersas el desborde del perímetro urbano a lo largo de la carretera a las parroquias Bellavista y Santa Rosa, en donde los propietarios de los terrenos en su interés por desarrollar usos alternativos más rentables en las áreas agrícolas han lotizado sus parcelas para urbanizaciones. La fragmentación de la tierra agrícola corre el riesgo de afectar la organización rural establecida y provocar desorden territorial. Los efectos directos pueden ocasionar la pérdida de suelos para las actividades agropecuarias y la intensificación de los impactos ambientales (contaminación de aguas, producción de basura, aumento de especies invasoras, entre otros) en los hábitats y ecosistemas aledaños. En los últimos años ha surgido una nueva tendencia de ocupación del suelo rural en la periferia de Bellavista y a lo largo de la carretera Puerto Ayora-Bellavista, conformándose poblaciones dispersas como las que podemos ver en el mapa: Scalecia, Tomás de Berlanga, Miramar, El Bosque, Camino Viejo, Aguacatal, Guayabillo, asentadas precisamente en la Unidad Hidrográfica de la zona de captación de agua que comprende la microcuenca del Kroquer y Media Luna, la cual se extiende a lo largo de estas poblaciones dispersas y en donde están ubicados los acuíferos de abastecimiento de agua para la población (ver mapas). Su poblamiento significa contaminación del agua y afectación de la salud humana, en esta zona debe limitarse el uso del suelo para asentamientos humanos (Martínez, 2012)

Ante el escenario mostrado se origina la interrogación:

¿En el período 2016 – 2019 las variaciones del cambio de uso del suelo en la isla Santa Cruz serán notorias con la utilización de imágenes satelitales?

1.2. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar multitemporalmente el cambio de uso del suelo mediante el uso de imágenes satelitales de la isla Santa Cruz, Galápagos.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las diferentes categorías de cobertura de la isla Santa Cruz, Galápagos.
- Analizar el cambio multitemporal de uso de suelo en el período 2016 - 2019

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Análisis multitemporal del uso del suelo.

El procesamiento de imágenes multitemporales y la detección de cambios ha sido un campo de investigación activo en la detección remota durante décadas. Si bien se han informado muchos casos de aplicaciones exitosas en el monitoreo y detección de cambios ambientales, existen enormes desafíos en la aplicación de imágenes multitemporales para obtener información oportuna sobre el medio ambiente y las actividades humanas de la tierra. En los últimos años, se ha observado un gran progreso para superar los obstáculos tecnológicos mediante el desarrollo de nuevas plataformas y sensores. La disponibilidad más amplia de grandes archivos de imágenes históricas también hace posible la detección y el modelado de cambios a largo plazo. Tal desarrollo estimula una mayor investigación en el desarrollo de métodos de procesamiento de imágenes más avanzados y nuevos enfoques para el manejo de datos de imágenes en la dimensión temporal. En los últimos años, los investigadores han presentado un gran número de técnicas de detección de cambios de imágenes de sensores remotos y los han resumido o clasificado desde diferentes puntos de vista (Lu *et al.*, 2004). El monitoreo de los cambios en el uso del suelo / cobertura del suelo es muy importante para comprender la dinámica del paisaje en, o entre, un período (Rawat y Kumar, 2015).

El análisis multitemporal es una técnica que permite obtener imágenes con de diferentes fechas y horas con la finalidad de estudiar los fenómenos naturales a detalle. Los estudios de las coberturas y uso de suelo son los más frecuentes, ya que permiten conocer los tipos de procesos que las actividades antropogénicas pueden ocasionar (Hernández *et al.*, 2015).

La importancia de este análisis radica en que se estudia un sector problema y se obtiene varias imágenes a diferentes tiempos con una resolución espacial que permite identificar las coberturas del terreno. La mayoría de los análisis multitemporales estudian el impacto que el uso del suelo causa en los bosques, siendo el resultado principal la deforestación y la urbanización de zonas rurales (Alzate & Sánchez, 2018).

Elaboración de Cartografía Temática/cambios de uso: Se generaron digitalmente mapas temáticos obtenidos a través de la aplicación de los diferentes procesos: aclaración multi-espectral, detección de cambios en imágenes clasificadas, indicando los cambios en el uso y cobertura de la tierra a través del tiempo que comprenden las imágenes.

Cobertura vegetal y uso de la tierra: Según, Di Gregorio (2005), la cobertura de la tierra es fundamental, ya que en muchas clasificaciones y leyendas se las confunde con la definición de uso de la tierra. La cobertura de la tierra, es la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie terrestre.

2.2. Conceptualizaciones y herramientas utilizadas para estudios mutitemporal

Geo informática: Es la ciencia y la tecnología que desarrolla la infraestructura de ciencia de información en usos de problemas de geografía, cartografía, geociencias y demás ramas relacionadas de ciencia e ingeniería (Londoño, 2018), es la disciplina que surge al unir la informática y las ciencias de la tierra; es el uso de las matemáticas y las técnicas informáticas para resolver problemas geográficos (Rojas, 2018).

Sistemas de información geográfica: es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión (DeMers, 2003).

Sensores remotos: Sistemas 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 (Montes-Aldaba, 2018).

Resolución de un sistema sensor: Alcanzamos definir la resolución de un sistema sensor como su habilidad para registrar, discriminándola, información de detalle. El concepto de resolución implica al menos cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal (Meliá, 1993).

Resolución temporal: Este tipo de resolución se relaciona al intervalo de tiempo entre muestras continuas de la misma zona de la cobertura terrestre. El ciclo de cobertura depende de las características de la órbita del satélite, así como del diseño del sensor (Chuvieco, 1993).

Landsat 8: Es un satélite más completo cuyo objetivo es proporcionar información para actividades relacionadas con la agricultura, la educación, los negocios, la ciencia y también en el ámbito estatal, con sus funciones mejoradas para monitorizar la calidad del agua y nubes atmosféricas altas (León, 2019), fue lanzado el 11 de febrero de 2013 y declarado operacional el 30 de mayo de 2013 (Galindo Aguilar, 2019). Landsat-8, se beneficia de la inclusión de la tecnología moderna en los componentes de sensores y satélites (Irons, Dwyer & Barsi 2012).

Tabla 1. Bandas del Satélite Landsat 8

Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
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
Banda 5 – 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

Fuente: Franco, 2017

El Landsat 8 tiene dos instrumentos fundamentales: 1) **Operational Land Imager (OLI)**, sensor que capta el espectro visible, infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR). Tiene una resolución de 15 metros en pancromático y de 30 m en multiespectral (Moreno, 2018) y 2) **Sensor térmico infrarrojo (TIRS)** es un sensor que mide la temperatura de la superficie terrestre mediante dos bandas del infrarrojo térmico (10 y 11), distingue la temperatura de la superficie de la temperatura de la atmósfera. Los datos generados por este sensor tienen una resolución de 100 m y son de gran valor para medir la evapotranspiración y el consumo de agua en la agricultura (Tchilinguirian, 2018).

Composición de Bandas: Un set de datos de ráster puede ser simple o complejo, estos estratos son llamados bandas. Muchos tipos de imágenes, como la multi-espectral satelital,

cada banda almacena la cantidad de reluctancia de una longitud de onda diferente del espectro electromagnético (Beltrones, 1991).

La composición de imagen o las imágenes multi-bandas pueden ser exhibidas como una mezcla de color donde colores diferentes (rojo, verde y azul) es asignado a cada uno de tres bandas para obtener una imagen de color compuesto o verdadero (Martinez, 2018)

Imágenes satelitales: se puede definir como la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial (Flores, 2018), Las imágenes satelitales se dividen en tres tipos, **1) Imágenes Pancromáticas:** se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético (tales porciones del espectro reciben el nombre de bandas; **2) Imágenes Multiespectrales:** se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas. Donde un conjunto de detectores puede medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano; **3) Imágenes Hiperespectrales:** se refieren a un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con frecuencia cientos o miles. La reflectancia permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie, especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelo y rocas (Paz Pellat, 2018).

Firma espectral: La teledetección se basa en la interacción del espectro electromagnético y la cubierta terrestre. Cuando realizamos un gráfico en el que representamos la cantidad la radiación reflejada por una superficie y la relacionamos con la longitud de onda de la onda electromagnética, obtenemos lo que se denomina firma espectral. Presenta diferentes tipos de superficies, como el agua, la tierra desnuda o la vegetación (Figura 1), reflejan la radiación de manera distinta en varios canales. La radiación reflejada en función de la longitud de onda se llama firma espectral de la superficie (Paz, 2018).

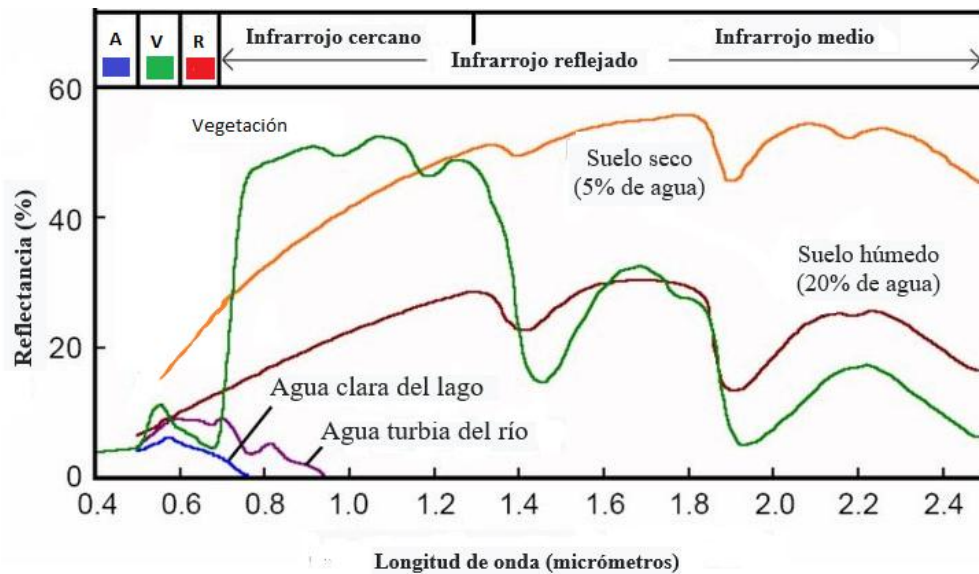


Figura 1. Firma espectral de la vegetación

Clasificación supervisada: permite explorar diferentes tipos de atributos o clases por medio del análisis estadístico multivariado, este proceso identifica los valores de cada píxel de una o varias bandas de una imagen ráster, crea y evalúa las clases o clúster, finalmente reclasifica de acuerdo a las probabilidades de cada clase (Vargas-Sanabria, 2018).

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).

Uso de suelo: Comprende las acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla (Aroche, Reina y Hernández, 2019), la comisión europea ha definido el uso de suelo como la capa superior de la corteza terrestre que está compuesta por una mezcla de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos; lo que conforma un medio ambiente muy complejo y variable (Montoro, 2018).

Algebra de mapas: Es el conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato ráster, nos permite obtener información derivada, generalmente en forma de nuevas capas de datos; es una herramienta para realizar actividades y procedimientos, haciéndolo posibilidad de obtener resultados y los objetivos propuestos (Cavazzana, 2018), tiene un conjunto de procedimientos y métodos que permiten llevar a cabo dicho análisis y extraer nuevos valores a partir de los contenidos en una o varias capas (Bautista Calderon, 2018).

Ráster: Es un tipo de imagen que consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas. en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura (Vázquez Rodríguez, 2018). El ráster identifica metadatos, como: georreferenciación, fecha de adquisición, tipo de sensor y longitudes de onda de banda junto con un formato de ráster (Valencia, 2018).

Tabulación cruzada: Es el proceso de una tabla de contingencia desde la distribución de frecuencias multivariada de las variables estadísticas (Barboza, 2018), especifica una fila, columna y un factor de capa, el procedimiento tablas cruzadas crea un panel de medidas y estadísticos asociados para cada valor del factor de capa (o una combinación de valores para dos o más variables de control) (Pérez-Sosa, 2019). permite generar una matriz de transición (Ordoñez y Martínez, 2003), como insumo principal para analizar el cambio de uso de suelo.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): Los índices de vegetación son medidas cuantitativas, basadas en los valores digitales que tienen a medir la biomasa o vigor vegetal. La detección remota de la cobertura vegetal, fundamenta a las propiedades espectrales de las plantas, propiedades que tienen las hojas al interactuar con la radiación solar; es una variable que permite estimar el desarrollo de una vegetación en base a la medición, con sensores remotos, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la misma emite o refleja (Casiano, 2018).

El NDVI posee un gran valor en términos ecológicos, ya que es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación, la

productividad primaria y una variable integradora del funcionamiento del ecosistema (Wall y Virginia, 2000).

Índice de Vegetación Normalizado Multitemporal: es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Las plantas absorben radiación solar en la región espectral de radiación fotosintética activa, la cual es usada como fuente de energía en el proceso de fotosíntesis (Caballero Cruz, 2018).

2.3. Programas para el análisis mutitemporal de la dinámica espacial

PCI Geomatic: Es un software para procesamiento digital de imágenes satelitales de todo tipo de sensor aeroespacial se ofrece con dos niveles de funciones: Geomatica Core con todo lo necesario para clasificar imágenes multiespectrales, y Geomatica Prime que ofrece muchas funciones analíticas de geoprocesamiento. Raster además del análisis de datos de RADAR y un entorno de programación visual, Geomatica es completamente compatible con ArcGIS (Carbonnel-Torralbo, 2018)

IDRISI: es un sistema basado en la red de Pc que ofrece herramientas para los investigadores y científicos que participan en el análisis dela dinámica del sistema tierra para la toma de decisiones eficaz y responsable de la gestión del medio ambiente, el desarrollo sostenible de los recursos y la asignación equitativa de los recursos (Martínez Martínez, 2018).

ArcGIS: Es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica, ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. Permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario (Asghari, 2018).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El presente estudio (Figura 2) se lo realizó en la Isla Santa Cruz, perteneciente a Provincia de Galápagos, su temperatura oscila entre los 20° C a 31° C, el rango altitudinal varia de los 0 a los 864 msnm. La precipitación anual de 0 a 300 mm por año parte costera, en la parte alta es entre los 300 y 1.700 mm, tiene una superficie de 98.600 ha.

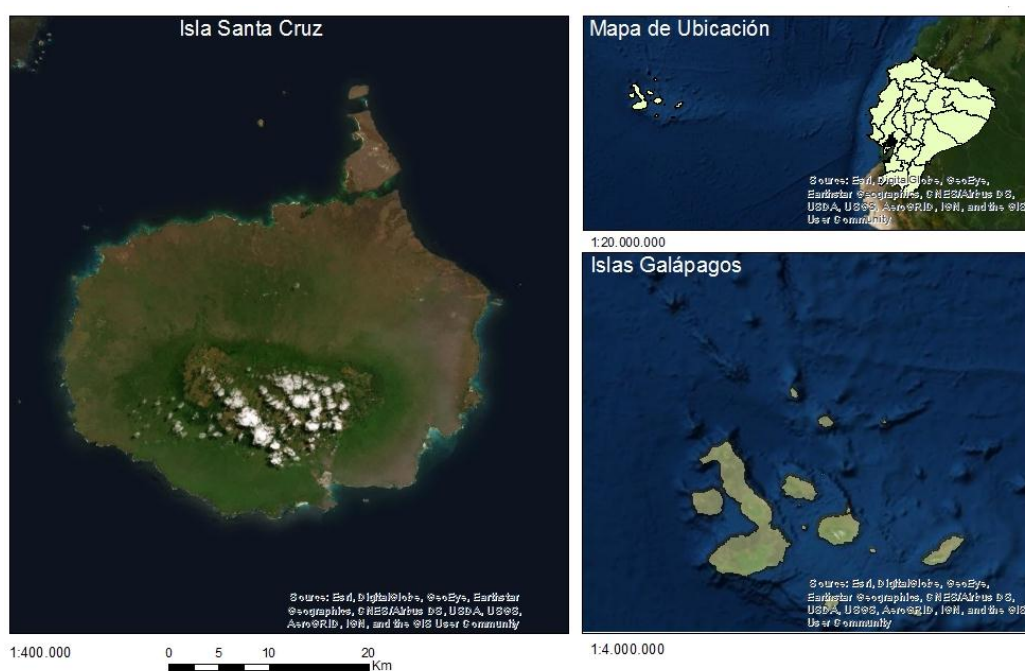


Figura 2. Área de estudio para la evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa Cruz, Galápagos

Es importante recalcar que a diferencia de la mayoría de las áreas protegidas (AP) en el mundo, donde las AP están rodeadas de áreas urbanas y/o rurales, en Galápagos ocurre lo contrario las AP rodean completamente las áreas urbanas y rurales de las cuatro islas habitadas Isabela, San Cristóbal, Floreana y Santa Cruz. (Benitez-Capistros *et al.*, 2019).

3.2. MÉTODO

Para el proyecto de investigación titulado “Evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa Cruz, Galápagos”. Se utilizó dos imágenes LANDSAT 8 de los años 2016 y 2019 (Tabla 2), con un grado de nubosidad medio alto para el año 2016 y para 2019 la nubosidad era mínima.

3.2.1. Descripción del diagrama de procesos

Las imágenes satelitales utilizadas se obtuvieron de forma gratuita de la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) con sitio en: <http://glovis.usgs.gov/>, estas imágenes corresponden a la serie del satélite Landsat 8 de la NASA en formato Ráster (doce bandas/images) con sus debidas correcciones radiométricas del periodo de dos años 2016 y 2019 de los meses de octubre y marzo, respectivamente de la provincia de Galápagos (Figura 3).

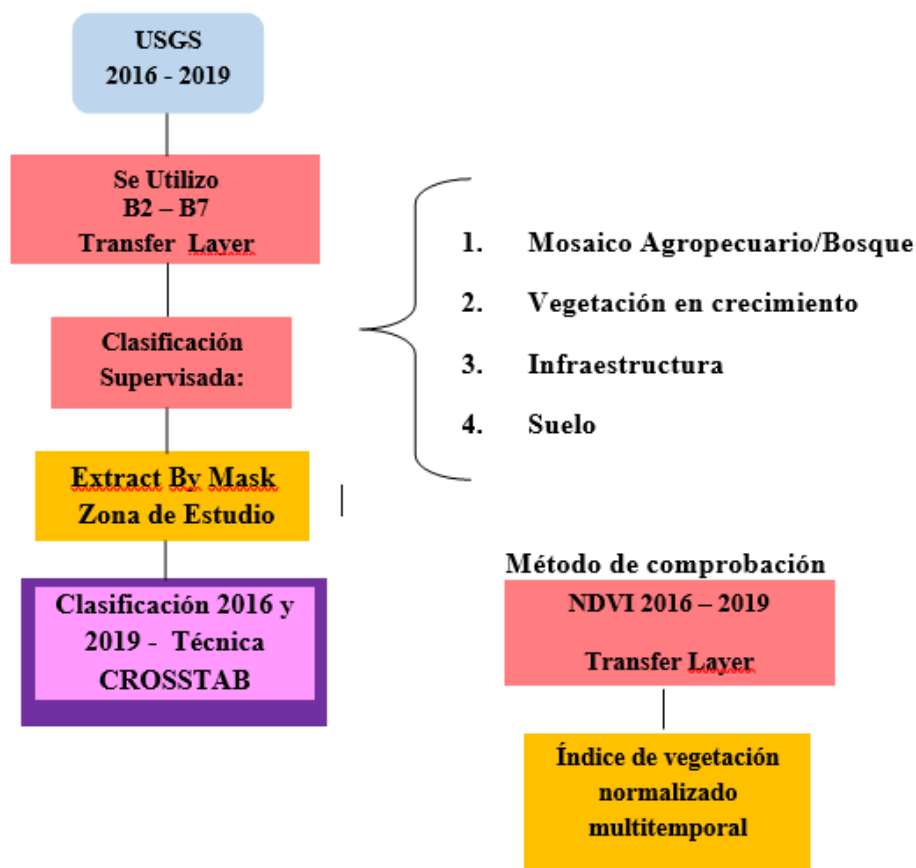


Figura 3. Diagrama de procesos para la evaluación multitemporal de cambio de uso del suelo en la Isla Santa Cruz, Galápagos. Programas utilizados: PCI – ArcGis – IDRISI.

En el transcurso del proceso se trabajó con las primeras siete bandas (Tabla 1). La banda 1 presenta aerosol costero, las bandas 2-4 son compuestos por los colores rojo verde y azul (color natural) y las bandas 5-7 reflejan diferentes ondas de infrarrojo.

Para el inicio del procesamiento, se utilizó la banda 1 que se denomina aerosoles donde se visualizan las nubes del año 2016, que fue importado al **programa PCI**, obteniendo como resultado una capa en **formato PCIDSK**, para posteriormente no considerar la categoría de nubes para no confundir con otras categorías como infraestructura de color similar.

Después de identificar las nubes se utilizaron las bandas B2, B3, B4, B5, B6, B7 para realizar un **Transfer Layer** (Transferencia de capas) para unir la información de las capas mencionadas de color natural que es una composición más parecida a cómo lo vería el ojo humano.

Luego de la obtención de un solo ráster, se dio un inicio para la **clasificación supervisada** identificando cuatro categorías: 1) Mosaico Agropecuario/Bosque, 2) Vegetación en crecimiento, 3) Infraestructura y 4) Suelo. Las imágenes de Landsat 8 tienen una resolución de 30 m por pixel y no permite una categorización más detallada en diferentes cultivos y área específicas. La denominación de cada categoría se definió a partir de:

1) Mosaico Agropecuario/Bosque: se estableció esta categoría en función de la aptitud agropecuaria y forestal, que se forman por la agrupación de las características edáficas, geomorfológicas y de clima de la zona rural (PDYOT, 2015).

2) Vegetación en crecimiento: se definió por su ubicación al estar fuera de la zona urbana y rural (PDYOT, 2015) y por ser parte del Parque Nacional Galápagos y estar en una de las zonificaciones, cuyo objetivo es la conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad (DPNG, 2014), corresponde al 88% de la superficie de la isla; zona seca caracterizada por bosques secos y matorrales dominados por árboles de hoja caduca, principalmente palo santo (*Bursera graveolens*), cactus (*Opuntia echios*), *Jasminocereus thouarsii* y varias especies de matorrales; una zona de transición caracterizado de un bosque denso, principalmente caducifolio. dominada por las endemias pega-pega (*Pisonia floribunda*), guayabillo (*Psidium galapageium*) y matazarno (*Piscidia. carthagenensis*) (Watson *et al.*, 2010; Dvorak *et al.*, 2012).

3) Infraestructura: se denominó a las vías de mayor tránsito en Santa Cruz y Baltraque son las distancias recorridas por el sector turístico, estableciendo nexos entre el aeropuerto y el principal puerto y muelle de embarque para turistas. La carretera Puerto Ayora-Bellavista-Santa Rosa-Canal de Itabaca, es de primer orden, asfaltada, y cubre 40,8 kilómetros. Así mismo en el área rural existe un total de 10 tramos constituyendo 40,4 km de vías no asfaltadas, clasificadas como de segundo y tercer orden, a más de varios caminos vecinales. En la zona urbana las calles son 80% adoquinadas. En la zona de Bellavista se tiene asfaltadas las calles principales. En Baltra, desde el Canal al Aeropuerto hay 4 km; y desde éste al muelle, 2 km aproximadamente (PDYOT, 2015)

4) Suelo: Esta categoría se definió en función al suelo existente en la Isla Santa Cruz sin ningún tipo de cobertura sea natural o artificial

Para el proceso de la clasificación supervisada se utilizó el programa PCI donde se colocaron polígonos en el ráster para identificar los valores como color, textura, tonalidad, etc. del conjunto de los píxeles para cada categoría. Una vez puesto diferentes polígonos por cada categoría, se aplicó la herramienta **Run Classification** para que el programa identifique las cinco categorías con la información de los polígonos y genere un nuevo ráster con clasificación.

El tamaño de una imagen Landsat 8 tiene un tamaño aproximadamente 174 km (Norte – Sur) y 183 km (Este –Oeste). El ráster con las clasificaciones incluye todas las islas del archipiélago Galápagos. Para disminuir el tamaño del ráster se aplicó la herramienta **EXTRACT BY MASK** del programa ArcMap para cortar la zona de estudio (Isla Santa Cruz) y eliminar las zonas que no son de interés.

El proceso mencionado se repitió para la información del año 2019. Los ráster con la clasificación de los años 2016 y 2019 se analizaron posteriormente utilizando la técnica llamada **CROSSTAB** (tabulación cruzada).

TABULACIÓN CRUZADA: Esta técnica es bastante básica pero efectiva, se utiliza para encontrar la relación existente entre dos variables categóricas (IBM, 2019), Para este estudio se utilizó la herramienta CROSSTAB que tiene el programa IDRISI.

Para el proceso de índice de vegetación de diferencia normalizada, se realizó con dos bandas del año 2016 y 2019 utilizando la herramienta **TRANSFER LAYER** para realizar

una combinación multitemporal del RGB obteniendo un ráster de los dos años 2016 y 2019 donde se obtiene las siete bandas del 2016 y las siete bandas del 2019 y se realiza una **COMBINACION MULTITEMPORAL RGB** (Reyes *et al.*, 2019)

Para la realización de los dos modelos se siguió el siguiente proceso; 1) utilizar la banda IR (infra rojo) del año 2019, IR2016 y R (rojo) 2016 y obtuvimos el ráster de la banda infrarroja (Figura 8). Modelo 2) NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) 2016; NDVI2019 y AZUL2016 donde se obtuvo el ráster resultante del NDVI (Figura 4B).

Cabe aclarar que cada una de estas bandas se colocó en cada cañón es decir el IR2019 fue en el cañón rojo el IR2016 en el cañón verde y el Rojo2016 en el cañón azul y de esto se obtuvo dos RASTER (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) donde se obtuvo dos diferentes modelos para hacer las comparaciones donde esta fue la segunda técnica utilizada.

Índice de Vegetación Normalizado Multitemporal

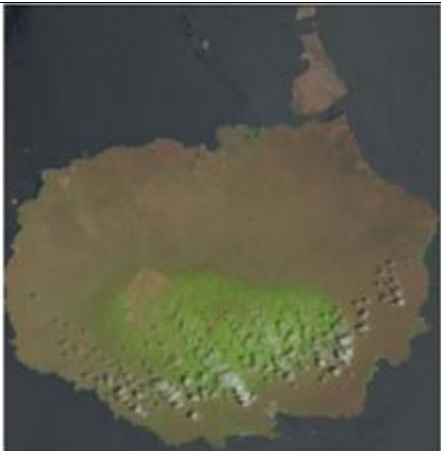
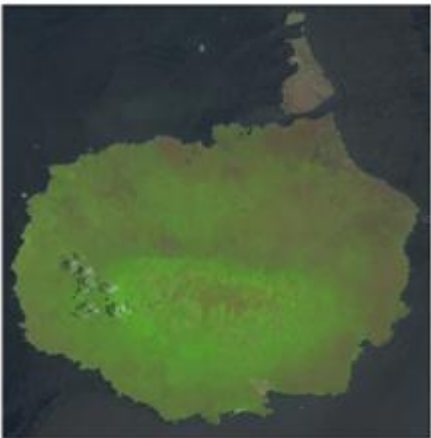
Para la tercera comprobación se utilizó las bandas **B5 (infrarrojo cercano) 2016** y **B4 (rojo) 2016** por separadas, con la herramienta Ráster Calculator (calculadora ráster); es una herramienta que permite realizar operaciones matemáticas sobre los valores de los píxeles existentes en un ráster, (fórmula del NDVI: $\frac{IR-R}{IR+R}$) y se obtuvo Ráster que refleja la vegetación creciente para el año 2016 y un similar procedimiento se realiza para el año 2019.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La resultante del objetivo 1. Establecer las diferentes categorías de cobertura de la isla Santa Cruz, Galápagos. En la Tabla 2 se evidencia las imágenes satelitales obtenidas del portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, siglas en inglés).

Tabla 2. Imágenes satelitales utilizadas en el análisis multitemporal de la isla Santa Cruz, Galápagos.

Fecha	27-10-2016	10-03.2019
Satélite Landsat 8		

Fuente: USGS, 2019

Para que el análisis tenga coherencia y los resultados sean reales, se tuvo que clasificar a las imágenes en 5 categorías que fueron: **0: Nubes**; **1: Bosque**; **2: Vegetación en crecimiento**; **3: Infraestructura** y **4: Suelo** (Figura 4).

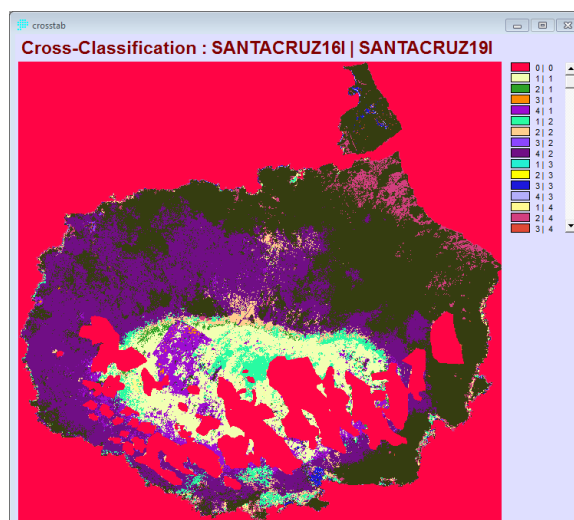


Figura 4. Ráster resultante de la técnica tabulación cruzada de la Isla Santa Cruz

Los resultados del Objetivo 2: Analizar el cambio multitemporal de uso de suelo en el período 2016 – 2019. A partir de 5 categorías: **0: Nubes; 1: Mosaico agropecuario Bosque; 2: Vegetación en crecimiento; 3: Infraestructura y 4: Suelo**, definidas en las Isla Santa Cruz en dos periodos marzo 2016 y abril 2019 (Tabla 3).

Tabla 3. Valores resultantes del procesamiento de las imágenes satelitales de los años 2016 – 2019

2016				2019				Diferencia 2016-2019
No	Categorías	Hectáreas	Porcentaje	No.	Categorías	Hectáreas	Porcentaje	
0	Nubes	86.398,11	50,26%	0	Nubes	86.398,11	50,26%	0,00%
1	Mosaico agropecuario y Bosque	12.481,20	7,26%	1	Mosaico agropecuario y Bosque	12.747,15	7,42%	0,15%
2	Vegetación creciente	5.756,85	3,35%	2	Vegetación creciente	31.127,49	18,11%	14,76%
3	Infraestructura	657,99	0,38%	3	Infraestructura	425,25	0,25%	-0,14%
4	Suelo desnudo	66.603,51	38,75%	4	Suelo desnudo	41.199,66	23,97%	-14,78%
Total		171897,66	100%	Total		171897,66	100%	

4.1. Categoría Mosaico agropecuario y Bosque:

El área del mosaico agropecuario y bosque en el año 2016 fue 12.481,2 ha (7,26%) para el año 2019 hubo un incremento de 265,95 ha lo que corresponde a un 0,15% del área evaluada, esto se puede corroborar gracias a las actividades implementadas por el proyecto Galápagos Verde 2050 desde el año 2014 (Jaramillo *et al.*, 2015), resultando beneficioso para la conservación de las tortugas gigantes (*Chelonoidis porteri*) ya que migran estacionalmente de julio a diciembre desde el parque nacional hasta las zonas rurales de tierras altas (Figura 5) donde, debido a las condiciones continuas de humedad y la productividad de las plantas permanece durante todo el año (Blake *et al.*, 2015), el aumento de área bosque incrementa la dispersión de las semillas por las tortugas (Blake *et al.*, 2012) por el incremento y de la calidad de los recursos alimentarios (Blake *et al.*, 2013).

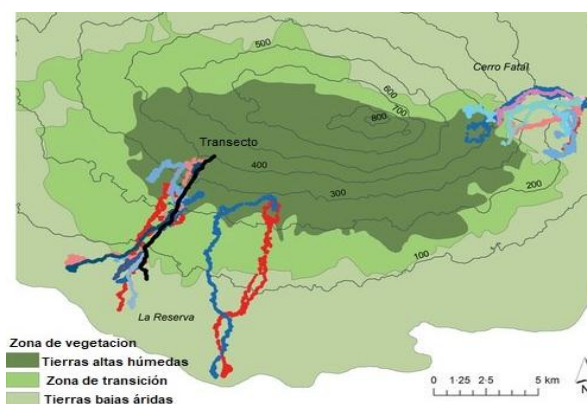


Figura 5. Isla Santa Cruz, Galápagos. Mapa que ilustra diferentes zonas de vegetación, el área rural-agrícola, que se encuentra en el centro de la isla, y el área urbana (ciudad de Puerto Ayora). También se muestra un resumen de las pistas de movimiento (lineas) de tortugas gigantes en 1 año para las especies del sudoeste (*Chelonoidis porteri*) y del sureste (*Chelonoidis donfaustoi*).

Fuente: Benitez-Capistros *et al.*, 2019

4.2. Categoría Vegetación en Crecimiento

Para el año 2019 tuvo una superficie de 31.127,49 ha (18,11%) mientras que en el año 2016 tuvo un área de 5.756,85 ha (3,35%), de esta manera ha existido un incremento del 25.370,64 ha (81,50%) (Figura 6), con lo que se comprueba la efectividad del proyecto Galápagos Verde 2050 que es una iniciativa multi-institucional e interdisciplinaria que por un lado busca contribuir a la sostenibilidad del archipiélago a través de acciones de restauración ecológica y agricultura sostenible, y por otro, convertirse en un ejemplo para el mundo al demostrar que es posible lograr el desarrollo sustentable (Jaramillo et al., 2014).

4.3. Categoría Infraestructura

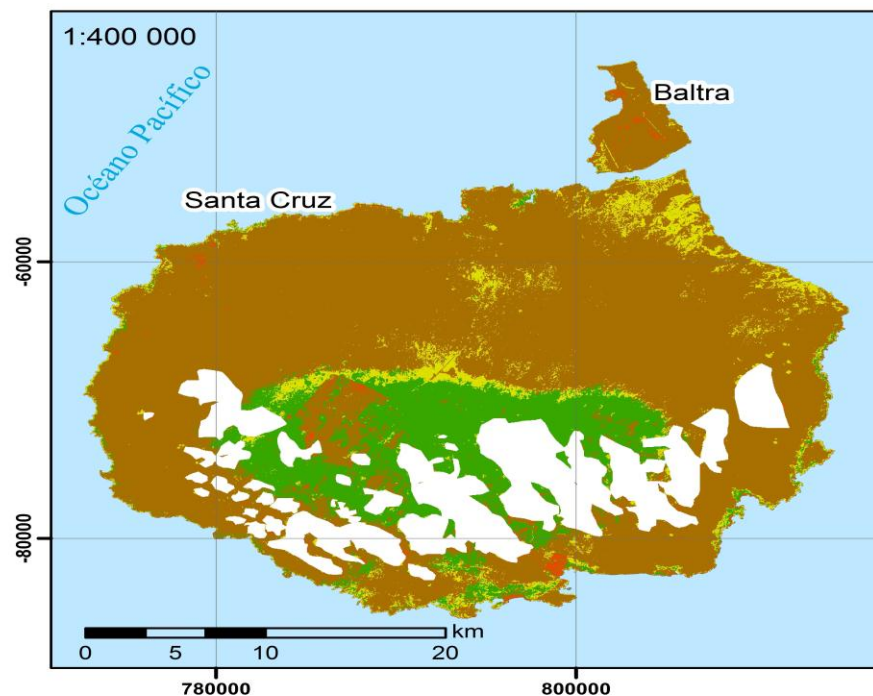
Se georreferenció los centros poblados: Urbano: Puerto Ayora y Rural: Bellavista y Santa Rosa. Para el año 2016 la superficie de la infraestructura identificada fue de 657,99 ha (

2016				2019				Diferencia 2016-2019
No	Categorías	Hectáreas	Porcentaje	No.	Categorías	Hectáreas	Porcentaje	
0	Nubes	86.398,11	50,26%	0	Nubes	86.398,11	50,26%	0,00%
1	Mosaico agropecuario y Bosque	12.481,20	7,26%	1	Mosaico agropecuario y Bosque	12.747,15	7,42%	0,15%
2	Vegetación creciente	5.756,85	3,35%	2	Vegetación creciente	31.127,49	18,11%	14,76%
3	Infraestructura	657,99	0,38%	3	Infraestructura	425,25	0,25%	-0,14%
4	Suelo desnudo	66.603,51	38,75%	4	Suelo desnudo	41.199,66	23,97%	-14,78%
Total		171897,66	100%	Total		171897,66	100%	

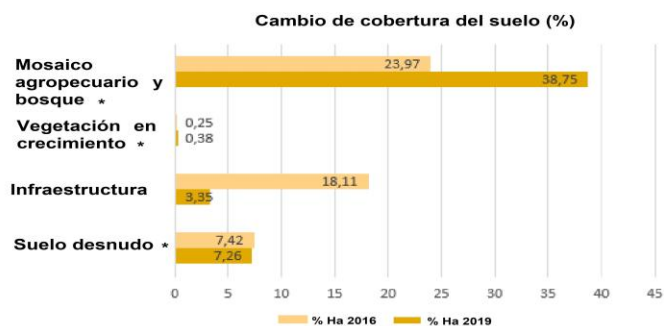
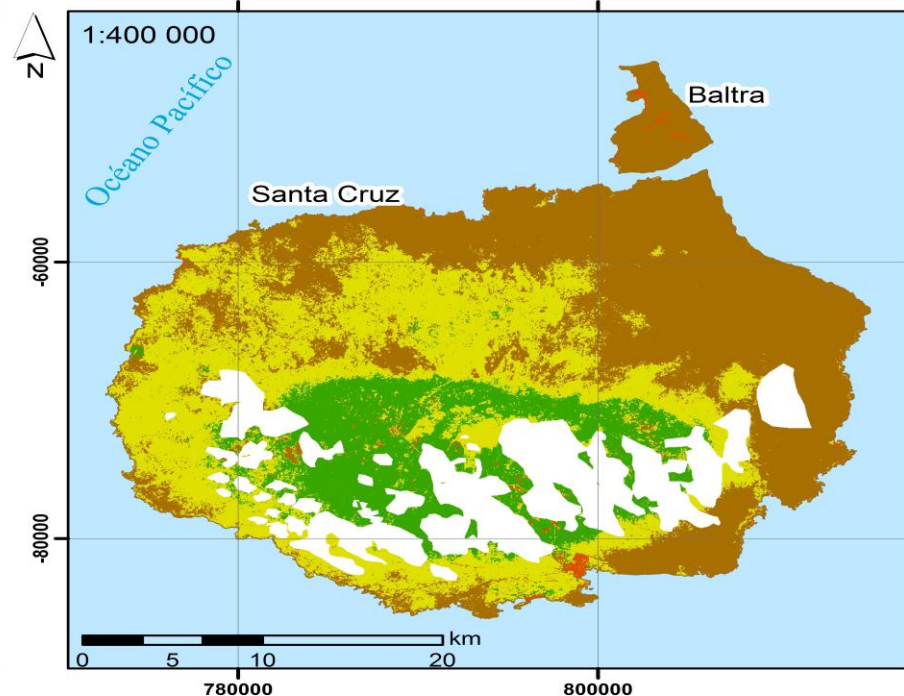
Tabla 3) equivalente al 3,34% de la supervisión evaluada, la urbanización es comúnmente considerada como un proceso positivo vinculado al desarrollo económico y social, donde las áreas rurales se transforman en centros urbanos (Poumanyvong & Kaneko, 2010) pero existe cierta preocupación por el impacto que tiene el modus vivendi por los grandes asentamientos urbanos en los centros poblados en Santa Cruz por la tendencia a la expansión (López y Dunn, 2017). Para el año 2019 de infraestructura tuvo una superficie de menor de 425,25 ha (0,25%), la transformación del paisaje tiene un gran impacto en la biodiversidad, los ciclos del agua, el clima local y regional, y una gama de servicios ecosistémicos, esto es particularmente importante en áreas urbanas cercanas o dentro de áreas protegidas, y que están creciendo en área y población, como en Santa Cruz y otras

islas, donde los asentamientos urbanos surgieron antes del establecimiento del Parque Nacional Galápagos (ME, 1950).

Clasificación de la cobertura de suelo 2016



Clasificación de la cobertura de suelo 2019



Cobertura	2016	2019
	Ha	Ha
Bosque *	12481.20	12747.15
Vegetación en crecimiento *	5756.85	31127.49
Infraestructura	657.99	425.25
Suelo *	66603.51	41199.66

Cambio de cobertura		
2016	2019	Ha
Suelo a	Bosque *	3627.18
	Vegetación *	25799.85
	Infraestructura	118.62
	Suelo *	37057.86

Legenda	
	Nubes
	Bosque
	Vegetación Crecimiento
	Infraestructura
	Suelo

Evaluación multitemporal del uso de suelo en la Isla Santa Cruz - Galápagos			
Universidad Estatal Amazónica; Carrera de Ingeniería Ambiental			
Sistema de referencia:	WGS84	Escala:	1:400000
Proyección:	UTM 15N	Fuente:	USGS
Autor:	Deniz Barreto Alvarez	Revisado por:	ESPE-CIGMA

Figura 6. Evaluación multitemporal del uso de suelo en la Isla Santa Cruz - Galápagos

El valor resultante para el 2019 se está influenciado por el porcentaje de nubes (mayor que el 30%) en la imagen satelital del sensor Landsat 8, ya que ha existido una expansión de la infraestructura que se evidencia en la Figura 7, corroborando un potencial incremento de la superficie impermeable con una profunda implicación para los sistemas humanos-ecológicos de Santa Cruz (Walsh & Mena, 2016) y específicamente, el crecimiento de las superficies urbanas en las Galápagos, están relacionadas con un deterioro de la salud de la vida silvestre (Zylberberg *et al.*, 2013) y la vegetación endémica (De la Torre, 2013) salud humana e infraestructura (Walsh *et al.*, 2010; Ragazzi *et al.*, 2016) y en la relación entre la vida silvestre y los humanos, por ejemplo en Denkinger, Quiroga y Murillo, (2014).

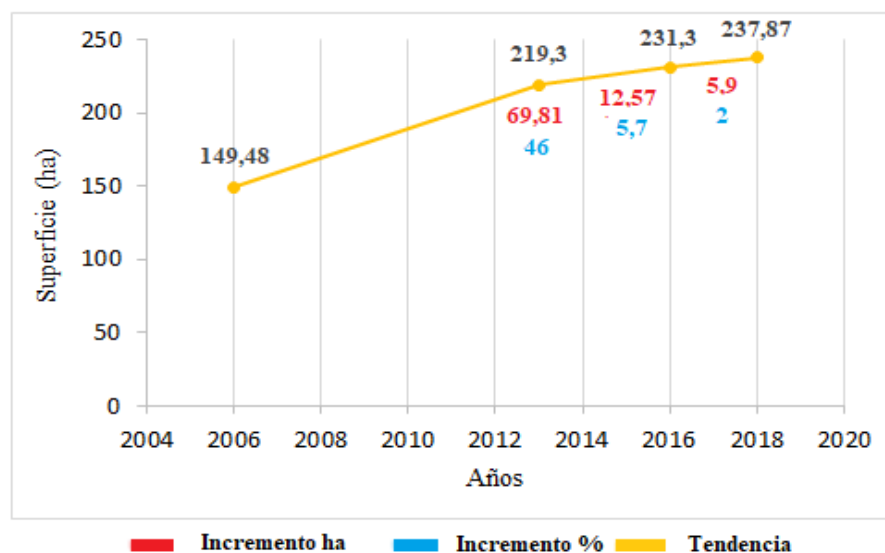


Figura 7. Dinámica de la infraestructura en Santa Cruz: Período 2006 – 2018
Fuente: Google Earth Pro, 2019.

A pesar de que hay nuevos esfuerzos para comprender cómo el crecimiento de la población afecta a los servicios públicos en las Islas Galápagos (Ragazzi *et al.*, 2016; Reyes *et al.*, 2016) y la contribución a la invasión de especies exóticas (Torral-Granda *et al.*, 2017), no hay suficiente investigación para evaluar el impacto del crecimiento de la infraestructura urbana en especies endémicas y cómo se pueden construir programas de ecología urbana para mejorar los impactos potenciales.

El crecimiento urbano suele ir acompañado del aumento de la superficie impermeable (Dams *et al.*, 2013), que se define como un tipo de material de superficie que no permite la infiltración de agua directamente en el suelo y se asocia principalmente con infraestructuras de asfalto y concreto en áreas urbanas, incluidas las calles,

estacionamientos, viviendas y techos (Yang & He, 2017; Wang, Huang & Fu, 2015). La cantidad de superficie impermeable en un paisaje es un indicador importante de su calidad ambiental (El Garouani *et al.*, 2017).

El conductor directo más obvio del cambio de tierra en Galápagos está relacionado con el desarrollo de la industria del turismo en las islas (Walsh & Mena, 2016; Pizzitutti *et al.*, 2017), sin embargo, existen muchas causas subyacentes, más allá del número de personas que vienen a Galápagos para vivir o visitar, que contribuye el aumento de superficies impermeables en las islas. Las razones de esto pueden tener que ver con las expectativas culturales o la creencia de que el pavimento es un signo de progreso o desarrollo en un entorno de frontera, lo que también se relaciona con la falta de conciencia ambiental del inmenso valor social y ecológico de los espacios verdes para los locales. Planificadores y autoridades locales y de la comunidad, algunos ejemplos en Zhang *et al.*, (2012); Jenerette *et al.*, (2011) y Young (2010).

Categoría Suelo: Los suelos son un componente básico para los ecosistemas de Galápagos, las tecnologías de teledetección han sido uno de los métodos principales para proporcionar información detallada sobre el uso y la cobertura del suelo (Benítez, Mena, Zurita-Arthos, 2018). Los suelos en la Santa Cruz se componen de roca desnuda, en la zona árida (hasta los 120 msnm) se encuentra una delgada capa de litosoles. A partir de esta zona hasta los 450 msnm (dentro de la zona agrícola), se encuentran suelos con espesores de hasta 1 m, con una textura arcillosa y en algunos casos franco limosa a arenosa fina (MAGAP, 2014) en la Tabla 4 se evidencia las transiciones existentes a partir del año 2016 al 2019 de la categoría suelo a las otras categorías evaluadas.

En el 2016 existió una superficie de suelo de 66.603,51 ha equivalente a 38,75% del área estudiada, los suelos se forman después de la descomposición de las superficies de flujo de lava causadas por la intemperie. El paisaje moderno está cubierto de suelos negros poco desarrollados; Los suelos más antiguos son Andisoles marrones, y las superficies más antiguas muestran suelos Rojos erosionados y altamente cohesivos, el pH promedio del suelo es de 6.37 a 6.52 en las tierras altas húmedas de la isla Santa Cruz, para el año 2019 la cobertura de suelo es de 41.199,66 ha (Tabla 3).

Los suelos de Santa Cruz almacenan alrededor de 706 Gg de Carbono Orgánico del Suelo (COS) en los 10 cm superiores, COS es una pequeña parte del ciclo global del carbono, el

cual implica el ciclo del carbono a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera (FAO, 2017.) la acumulación de COS se debe principalmente a factores climáticos que están influenciados por la altitud y dirección de los vientos, Un aumento de las precipitaciones, según lo predicho por los escenarios de cambio climático, resultará en un aumento general de las poblaciones de COS y probablemente modificará la composición de las especies de vegetación dentro de los diferentes estratos bioclimáticos de las islas (Rial *et al.*, 2017), El COS es importante por sus contribuciones a la producción de alimentos, la mitigación y adaptación al cambio climático, y el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) La biodiversidad del suelo (incluidos organismos como bacterias, hongos, protozoos, insectos, gusanos, otros invertebrados y mamíferos) combinada con COS, moldea la capacidad metabólica de los suelos y se cree que desempeña un papel crucial en el aumento de la producción de alimentos y la resistencia al cambio climático. El cambio climático es una de las principales amenazas para los ecosistemas en Santa Cruz (Larrea & Di Carlo, 2009).

Tabla 4. Resultados de la Tabulación cruzada período 2016 - 2019

Cambios	Hectáreas (ha)	Categoría 2016	Categoría 2019
0	86398,11	0	0
1	3627,18	4	1
2	25799,85	4	2
3	118,62	4	3
4	37057,86	4	4

0 Nubes; 1 Mosaico Agropecuario/Bosque; 2 Vegetación en crecimiento; 3 Infraestructura; 4 Suelo

Para la comprobación del Objetivo 2. Analizar el cambio de uso de suelo comparando imágenes landsat8 mediante herramientas geoinformáticas, se realizó el Índice de vegetación Normalizado Multitemporal y Índice de vegetación normalizado (NDVI).

Las comparaciones con NDVI demuestran que hubo cambios para el año 2019 con una combinación multitemporal con bandas del infrarrojos y rojo en RGB (8_4_3), donde el color magenta es el cambio de la vegetación, (Se comprueba que la vegetación no ha sufrido cambios). El color azul y variación en el contraste igual no cambia de la cobertura del uso del suelo y el color amarillo y verde existe una ligera variación, pero sin cambios evidentes.

Realizamos la combinación multitemporal de NDVI en RGB (11_10_1), donde el color magenta presenta un cambio de la vegetación, (Se comprueba que la vegetación no ha sufrido cambios) El color azul y variación en el contraste igual no cambia de la cobertura del uso del suelo. El color amarillo y verde igual ligera variación, pero sin cambios evidentes.

Por lo tanto, una detección de cambios lo que pretende es identificar la variación de dicha celda entre dos imágenes, en este caso, el estudio toma en consideración dos imágenes del 2016 y 2019 en periodos semejantes, cuales esta georreferenciados por lo que la celda de una imagen es igual a la otro. Por lo tanto, la detección identificara si hay o no hay cambio. Ejemplo, donde el suelo es desnudo en el 2016 y en el 2019 esta con cobertura vegetal, la detección de cambios resaltara esta área

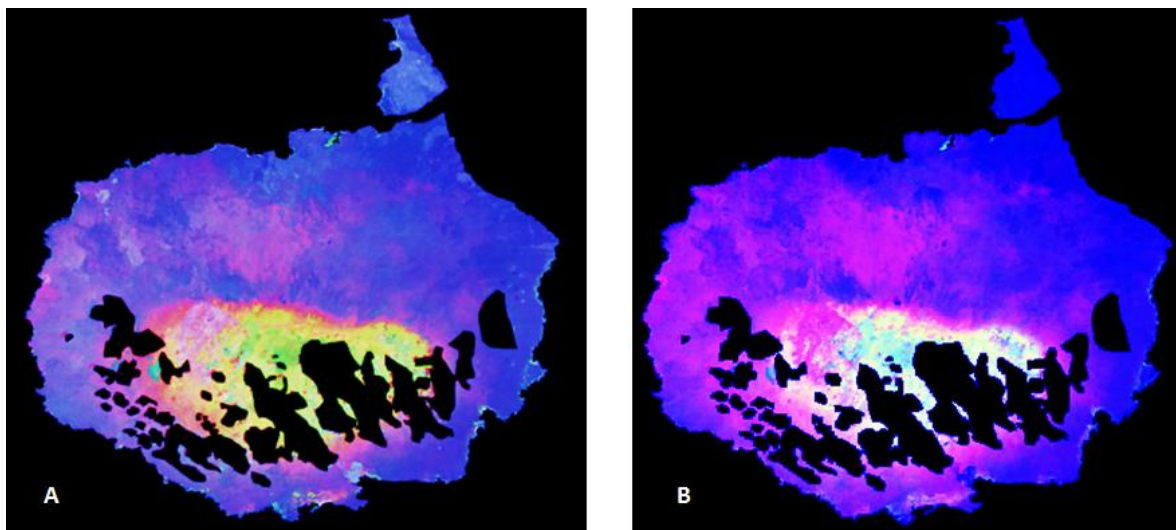


Figura 8. A) Ráster resultante banda infrarroja 2016 B) Ráster resultante del NDVI 2019

CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES

La comparación visual entre las metodologías utilizadas de NDVI indica una variación dentro del uso del suelo de la isla Santa Cruz, en la categoría vegetación en crecimiento como la variación de suelo y mosaico agropecuario bosque.

La aplicación de técnicas de detección remota en ecosistemas amenazados como las Islas Galápagos ha demostrado ser una herramienta poderosa para la toma de decisiones, específicamente en el caso de la isla Santa Cruz, permitirá un mapeo y técnicas de modelado precisos a costos relativamente bajos para combatir especies invasoras como la guayaba y la manzana de cera.

La prevalencia del frágil ecosistema insular depende ahora del metabolismo urbano presente en los poblados del archipiélago, conservar la vida silvestre y al mismo tiempo satisfacer las necesidades de recursos de una población humana en crecimiento es un desafío importante para la sostenibilidad en la Isla Santa Cruz.

5.2. RECOMENDACIONES:

Se recomienda que para estos análisis se obtengan fondos nacionales e internacionales para adquirir imágenes satelitales de mejor resolución.

Para obtener mejores resultados dentro de análisis se deben conseguir imágenes que no tengan nubes, ya que las nubes no permiten obtener información de esa zona y en el proceso se extrae y se reduce la información estadística.

Si se requiere tener un mayor detalle en las clasificaciones a realizar se recomienda utilizar un dron con una cámara fotográfica con alta resolución.

Aplicar este proceso metodológico en diferentes áreas de la amazonia ecuatoriana para diferenciar degradación de los diferentes ecosistemas naturales y artificiales lo cual podría servir como una línea base para el diseño de políticas públicas.

CAPÍTULO VI

6.1. REFERENCIAS

Aguayo, A., Pauchard, A., Azócar, G., Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural* 82: 361-374 p.

Alzate, G. y Sánchez, D., (2018) Análisis multitemporal por teledetección del cambio de coberturas en las veredas Pantanillo y Las Palmas del municipio de Envigado en el periodo comprendido entre los años 1997 y 2016 (Tesis) (Maestría). Universidad de Valencia, Valencia España S.l.

Aroche, E. J. A., Reina, E. M., & Hernández, J. M. L. (2019). Diagnóstico inicial de la evolución de un suelo degradado. *Avances*, 21(1), 129-138.

Astudillo, F. J. (2018). Soil phytoliths as indicators of initial human impact on San Cristóbal Island, Galápagos. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 490, 522-532.

Benítez, F., Mena, C., & Zurita-Arthos, L. (2018). Urban land cover change in ecologically fragile environments: the case of the Galapagos Islands. *Land*, 7(1), 21.

Benitez-Capistros, F., Couenberg, P., Nieto, A., Cabrera, F., & Blake, S. (2019). Identifying Shared Strategies and Solutions to the Human–Giant Tortoise Interactions in Santa Cruz, Galapagos: A Nominal Group Technique Application. *Sustainability*, 11(10), 2937.

Blake, S.; Guézou, A.; Deem, S.L.; Yackulic, C.B.; Cabrera, F. (2015). The dominance of introduced plant species in the diets of migratory galapagos tortoises increases with elevation on a human-occupied island. *Biotropica*, 47, 246–258.

Blake, S.; Wikelski, M.; Cabrera, F.; Guezou, A.; Silva, M.; Sadeghayobi, E.; Yackulic, C.B.; Jaramillo, P. (2012) Seed dispersal by Galápagos tortoises. *J. Biogeogr.*, 39, 1961–197.

Blake, S.; Yackulic, C.B.; Cabrera, F.; Tapia, W.; Gibbs, J.P.; Kuemmeth, F.; Wikelski, M. Vegetation dynamics drive segregation by body size in Galapagos tortoises migrating across altitudinal gradients. *J. Anim. Ecol.* 2013, 82, 310–321.

Barboza, E., Salas, R., Mendoza, M., Oliva, M., & Corroto, F. (2018). Uso actual del suelo y calidad hidrogeomorfológica del río San Antonio: alternativas para la restauración fluvial en el Norte de Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(2), 203-214.

Boser, C. L., Sillett, T. S., Collins, P. W., Faulkner, K. R., Funk, W. C., Ghalambor, C. K., & Vickers, W. (2018). Equipping tomorrow's historical ecologist: priorities for documenting conditions of the terrestrial fauna of Santa Cruz Island, California. *Western North American Naturalist*, 78(4), 879-887.

Bautista Calderon, E. A., Gutiérrez Castorena, E. V., Ordaz Chaparro, V. M., Gutiérrez Castorena, M., & Cajuste Bontemps, L. (2018). Sistemas agroforestales de café en Veracruz, México: identificación y cuantificación espacial usando SIG, percepción remota y conocimiento local. *Terra Latinoamericana*, 36(3), 261-273.

Beltrones, D. A. S. (1991) Composición y estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas del estero de Punta Banda en otoño de 1983 y 1986. *Ciencias Marinas*, 17(1), 119-138.

Carbonnel-Torralbo, A., & Martin-Quijada, R. (2018). MIES: Modelo Integrado de Energía para Santiago, Chile. *Revista de la construcción*, 17(3), 412-422.

Cardoso, M. M., & Fritschy, B. A. (2012). Revisión de la definición del espacio rururbano y sus criterios de delimitación. *Contribuciones científicas GAEEA*, 27-39.

Caballero Cruz, P., & Treviño Garza, E. J. (2018). Análisis de la pertinencia de las plantaciones forestales en Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), 400-414.

Castro, E. G., Chasiluisa, C. B., Giné, D. S., & Sánchez, R. G. (2018). Análisis de la variación temporal y espacial de la cobertura glaciar del nevado cayambe, ecuador, mediante fotografías aéreas e imágenes landsat. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (22), 97-113.

Casiano, M., & Paz, F. (2018). Índice espectral de vegetación para la caracterización simultánea de la floración y crecimiento vegetal. *Terra Latinoamericana*, 36(2), 169-181.

Chuvieco, E. (1993) Teledetección, SIG y cambio global. V Coloquio de Geografía Cuantitativa Zaragoza 1992), 33-55.

Cleveland, C. J. (2009). Biophysical constraints to economic growth. Dimensions of Sustainable Development – Volume I, 306.

Lambin, E. (1997). Modelling deforestation processes: a review tropical ecosystem environment observation by satellites. TREE Series B., Research Report No. 1. European Commission Joint Research Centre– Institute for Remote Sensing Applications–European Space Agency, Luxembourg.

Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección. 3ª edición revisada. Ediciones RIALP, Madrid. España.

Dams, J.; Dujardin, J.; Reggers, R.; Bashir, I.; Canters, F.; Batelaan, O. (2013) Mapping impervious surface change from remote sensing for hydrological modeling. J. Hydrol. 485, 84–95

DPNG (2014) Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir. Puerto Ayora-Galápagos, Ecuador: Dirección del Parque Nacional Galápagos.

DeMers, M.N. 2003. Fundamentals of Geographic Information Systems. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY, USA. 636 pp.

Denkinger, J.; Quiroga, D.; Murillo, J.C. (2014) Assessing human–wildlife conflicts and benefits of Galápagos sea lions on San Cristobal Island, Galápagos. In The Galapagos Marine Reserve: A Dynamic Social-Ecological System; Denkinger, J., Vinueza, L., Eds.; Springer: New York, NY, USA,; pp. 285–305

De la Torre, S. (2013) Research in agricultural and urban areas in Galapagos: A biological perspective. In Science and Conservation in the Galapagos Islands; Walsh, S.J., Mena, C.F., Eds.; Springer: New York, NY, USA,; pp. 185–198.

Di Gregorio., (2005) Análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal y uso de la tierra en el cantón gualaquiza 31 (1), 58-69.

Dvorak, M., Fessler, B., Nemeth, E., Kleindorfer, S., & Tebbich, S. (2012). Distribution and abundance of Darwin's finches and other land birds on Santa Cruz Island, Galápagos: evidence for declining populations. *Oryx*, 46(1), 78-86.

El Garouani, A.; Mulla, D.J.; El Garouani, S.; Knight, J. (2017) Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data: Case of Fez, Morocco. *Int. J. Sustain. Built Environ.*, 6, 160–169.

FAO. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia

Flores, G., López, E., Tituaña, L., & Lupera, P. (2018). Receptor Multibanda de Bajo Costo para la Recepción de Imágenes de Satélites Meteorológicos y SSTV. *Revista Politécnica*, 40(2), 25-30.

Franco, R, 2017. Composiciones Landsat en ARCGIS. Guía Básica. Bogotá, Colombia. 45p. Disponible en <http://wp.me/p2IwQU-1bh>

Galindo Aguilar, R. E., Pérez Hernández, M. J., Reynoso Santos, R., Rosas-Rosas, O., & González Gervacio, C. (2019). Cambio de uso de suelo, fragmentación del paisaje y la conservación de *Leopardus pardalis* Linnaeus, 1758. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(52), 149-169.

Hernández, D.M. et. al. (2015) "Análisis Multitemporal De Cambios De Uso Del Suelo Y Coberturas, En La Microcuenca Las Minas, Corregimiento De La Laguna, Municipio De Pasto, Departamento De Nariño." The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference.

IBM. (2019). Tabulación cruzada. Obtenido de IBM: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB_sub/statistics_mainhelp_ddit_a/spss/tables/nt_simple_cat_tables_crosstabs.html

IEE. (2012). Instituto Espacial Ecuatoriano. Obtenido de Instituto Espacial Ecuatoriano: <http://www.institutoespacial.gob.ec/>.

Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. (2012). The next Landsat satellite: The Landsat data continuity mission. *Remote Sensing of Environment*, 122, 11-21.

Jaramillo P, Cueva P, Jiménez E & Ortiz J. (2014). Galápagos Verde 2050. <http://www.darwinfoundation.org/en/scienceresearch/galapagos-verde-2050/>. Puerto Ayora, Isla Santa Cruz: Fundación Charles Darwin.

Jaramillo P, S Lorenz, G Ortiz, P Cueva, E Jiménez, J Ortiz, D Rueda, M Freire, J Gibbs y W Tapia. (2015). Galápagos Verde 2050: Una oportunidad para la restauración de ecosistemas degradados y el fomento de una agricultura sostenible en el archipiélago. Pp. 133-143. En: Informe Galápagos 2013-2014. DPNG, CGREG, FCD y GC. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.

Jenerette, G.D.; Harlan, S.L.; Stefanov, W.L.; Martin, C.A. (2011) Ecosystem services and urban heat riskscape moderation: Water, green spaces, and social inequality in Phoenix, USA. *Ecol. Appl.*, 21, 2637–2651

Larrea, I., & Di Carlo, G. (2009). Climate change vulnerability assessment of the Galapagos Islands. World Wildlife Fund/Conservation International, Quito, Ecuador.

Loza-Murguía, M. G., Mamani-Pati, F., & Solíz-Valdivia, H. (2018). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico-provincia Caranavi en los años 1989-2014. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 25-44.

Londoño-Ciro, L. A., & Cañón-Barriga, J. E. (2018). Spatio-Temporal Characterization Methodology of PM_{2.5} in the Urban Area of the City of Medellín-Colombia. *Revista EIA*, 15(30), 113-132.

León, J. C. (2019). Modelos De Temperatura Del Suelo A Partir De Sondeos Superficiales De Temperatura Y Sensores Remotos Para El Área Geotérmica Del Volcán Azufra.

Londoño-Ciro, L. A., & Cañón-Barriga, J. E. (2018). Spatio-Temporal Characterization Methodology of PM_{2.5} in the Urban Area of the City of Medellín-Colombia. *Revista EIA*, 15(30), 113-132.

López J. & Dunn J. (2017). Título del artículo. Pp. 57 – 61. En: Informe Galápagos 2015-2016. DPNG, CGREG, FCD.

Lu D., Mausel, P., Brondizio, E. And Moran, E., (2004), Change detection techniques, *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2407 p.

Martínez R., 2012. Informe técnico para la ordenanza provincial. Consejo de Gobierno del Régimen especial de Galápagos. Dirección de Producción y Desarrollo Humano 40p.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). 2014. Proyecto: "Almacenamiento de agua para uso agropecuario a través de micro-reservorios en la provincia de Galápagos". Santa Cruz – Puerto Ayora.

Medina, C., & Roxana, B. (2019). Estudio de prefactibilidad para la creación de un hotel turístico ecológico en el cantón Santa Cruz de la provincia de Galápagos (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2019.) Encuesta en la comunidad Alto Poroto

Montes-Aldaba, A., Martínez-Guerrero, J., López-Serrano, P., Pereda-Solís, M., & Strasser, E. (2018). Descripción del hábitat invernal de aves de pastizal con sensores remotos y estimación visual. *Abanico veterinario*, 8(3), 106-117.

Moreno, A., & Lourenço, R. (2018). Radiation Emissivity and Greenhouse Effect Due to Urban Occupation of Land in the Una River Basin, São Paulo. *Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía*, 27(2), 323-337.

Martínez Martínez, M. A. (2018). Evaluación espacio-temporal del cambio global, del año 1973 hasta el año 2017, en el Departamento Sur de Haití.

ME (Ministerio de Economía) (1960). Primer Censo de Población del Ecuador 1950; Dirección General de Estadísticas y Censos: Quito, Ecuador.

Meliá, J., & YOUNIS, M. G. Y. M. (1993) Contribución de la Teledetección en el estudio de las regiones semiáridas. La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. *Climatología y desertificación*, 239.

Moyano Cascante, M. V., Noriega, L., Luis, G., Martínez Mesías, R. F., Yaguana, A., Elizabeth, V., & Gavidia García, J. L. (2018). La devaluación del peso colombiano y su impacto económico financiero en el sector comercial. Caso ciudad de Nueva Loja. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (julio).

Macedo-Cruz, A., Pajares-Martinsanz, G., & Santos-Peñas, M. (2010). Clasificación no supervisada con imágenes a color de cobertura terrestre. *Agrociencia*, 44(6), 711-722.

DPNG (2014). Dirección del Parque Nacional Galápagos: Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.

Ordóñez, C. y A. Martínez (2003), Sistemas de información geográfica: aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales, Alfaomega-Ra-Ma, España.

Paz Pellat, F. (2018). Correcciones atmosféricas relativas de imágenes de satélite: patrones invariantes y modelos atmosféricos. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 1-12.

PDOT, 2012) Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Santa Cruz 2012 – 2027. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal De Santa Cruz Administración 2009 – 2014. Santa Cruz, Galápagos. 459p.

PDYOT, 2015. Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Santa Cruz. 2015 – 2027. Diagnostico Parte 2. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz, Galápagos. 442 p.

Pérez-Sosa, T., Cruz, Y., La Fé, I., & Quiza, R. (2019). Biblioteca de clases para optimización multiobjetivo mediante el método de entropía cruzada. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 13(1), 90-104.

Parra, G., Checa, M., Mesa-Barrionuevo, C. R., Ruiz-Reyes, N., & Guerrero, F. (2018). Evaluación de la huella ecológica en la Universidad de Jaén, una herramienta para la gestión sostenible. *Observatorio Medioambiental*, 21, 233.

Poumanyvong, P.; Kaneko, S. (2010) Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis. *Ecol. Econ.* 70, 434–444

Pizzitutti, F.; Walsh, S.J.; Rindfuss, R.R.; Gunter, R.; Quiroga, D.; Tippet, R.; Mena, C.F. 2017. Scenario planning for tourism management: A participatory and system dynamics model applied to the Galapagos Islands of Ecuador. *J. Sustain. Tour.*, 25, 1117–1137.

Oke, T.R.; Mills, G.; Christen, A.; Voogt, J.A. (2017). *Urban Climates*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1–525p.

Ragazzi, M.; Catellani, R.; Rada, E.C.; Torretta, V.; Salazar-Valenzuela, X. (2016) Management of urban wastewater on one of the Galapagos Islands. *Sustainability*, 8, 208.

Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 18, 77–84.

Reyes, D., Cristhian, B., Padilla, O., Ananganón, P., Guamán, S., Kirby, E., & Toulkeridis, T. (2019). "Use of Multitemporal Indexes in the Identification of Forest Fires - A Case Study of Southern Chile," 2019 Sixth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG), Quito, Ecuador, 2019, pp. 203-210. doi: 10.1109/ICEDEG.2019.8734443

Reyes, M.F.; Trifunović, N.; Sharma, S.; Kennedy, M. (2016) Data assessment for water demand and supply balance on the island of Santa Cruz (Galápagos Islands). *Desalin. Water Treat.*, 57, 21335–21349.

Rial, M., Cortizas, A. M., Taboada, T., & Rodríguez-Lado, L. (2017). Soil organic carbon stocks in Santa Cruz Island, Galapagos, under different climate change scenarios. *Catena*, 156, 74-81.

Soria Puente, A. M. (2018). Estandarización de primers específicos y análisis de diversidad genética de *Psidium galapageium* en la isla Santa Cruz, Galápagos (Bachelor's thesis, Quito).

Suárez, S., & Vargas, O. (2019). Material suplementario Artículo 71281. Composición florística y relaciones ecológicas de las especies de borde, parches y árboles aislados de un bosque seco tropical en Colombia. Implicaciones para su restauración ecológica. *Caldasia*, 41(1).

Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista científica*, (33), 243-253.

Skole, D.,(1994). Physical and Human Dimensions of Deforestation in Amazonia. *Bioscience* 44 (5):314-322p.

Toral-Granda, M.V.; Causton, C.E.; Jäger, H.; Trueman, M.; Izurieta, J.C.; Araujo, E.; Cruz, M.; Zander, K.K.; Izurieta, A.; Garnett, S.T. (2017) Alien species pathways to the Galapagos Islands, Ecuador. *PLoS ONE*, 12, e0184379.

Torres-Rodríguez, S., Díaz-Triana, J. E., Villota, A., Gómez, W., & Avella, A. (2019). Material suplementario Artículo 71275. Diagnóstico ecológico, formulación e implementación de estrategias para la restauración de un bosque seco tropical interandino.

Torres-Lima, P., & Cruz-Castillo, J. G. (2019). Procesos urbanos y sistemas socioecológicos. Trayectorias sustentables de la agricultura de chinampa en Ciudad de México. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (25), 168-190.

Vargas-Sanabria, D., & Campos-Vargas, C. (2018). Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 58-69.

Vázquez Rodríguez, R. (2018). Uso de sistemas de información geográfica libres para la protección del medio ambiente. . 158-164.

Valencia, D., Saavedra, J., Brull, J., & Santelices, R. (2018). Severidad del daño causado por los incendios forestales en los bosques remanentes de *Nothofagus alessandrii* Espinosa en la Región del Maule de Chile. *Gayana. Botánica*, 75(1), 531-534.

Valderrama, J. O. (2018). Huella del Carbono Cambio Climático, Gestión Sustentable y Eficiencia Energética. *Información tecnológica*, 29, 1-2.

Velázquez, A., Mas, J., Palacio, J., Díaz, R., Mayorga, C., Alcantara, R., Fernandez, T. (2007). Análisis de cambio de uso del suelo. Informe técnico convenio INE-Instituto de Geografía, UNAM., Ciudad de México DF, México.

Wang, J.; Huang, B.; Fu, D.; Atkinson, P.M. (2015) Spatiotemporal variation in surface urban heat island intensity and associated determinants across major Chinese cities. *Remote Sens.*, 7, 3670–3689.

Wall II, D. y Virginia, A. (2000). The word beneath our feet: Soil biodiversity and ecosystem functioning. Pp.225-241, In Praven and T .A. Williams (Eds) *Nature and Human Society: The Quest for Sustainable Word*. National Academy of Sciences Press, Washington D.C. 644 p

Walsh, S.J.; McCleary, A.L.; Heumann, B.W.; Brewington, L.; Raczkowski, E.J.; Mena, C.F. (2010) Community expansion and infrastructure development: Implications for

human health and environmental quality in the Galápagos Islands of Ecuador. *J. Lat. Am. Geogr.*, 9, 137–159

Walsh, S.J.; Mena, C.F. (2016). Coupled human-natural systems: Interactions of social, terrestrial & marine sub-systems in the Galapagos Islands. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 113, 14536–14543.

Watson , J., Trueman , M., T Ufet, M., Henderson , S. & Atkinson , R. (2010) Mapping terrestrial anthropogenic degradation on the inhabited islands of the Galapagos Archipelago. *Oryx*, 44, 79–82.

Yang, J.; He, Y. (2017) Automated mapping of impervious surfaces in urban and suburban areas: Linear spectral unmixing of high spatial resolution imagery. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 54, 53–64.

Young, R.F. (2010) Managing municipal green space for ecosystem services. *Urban For. Urban Green*. 9, 313–321

Zhang, B.; Xie, G.; Zhang, C.; Zhang, J. (2012) The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. *J. Environ. Manag*, 100, 65–71.

Zylberberg, M.; Lee, K.A.; Klasing, K.C.; Wikelski, M. (2013) Variation with land use of immune function and prevalence of avian pox in Galapagos finches. *Conserv. Biol.*, 27, 103–112.

CAPITULO VII

7.1. ANEXOS

Sección 1. Programa Galápagos Verde 2050 Fase previa al Proyecto de investigación



Figura 9. Vivero forestal del Parque Nacional Galápagos



Figura 10. Siembra de las plantas con las tres tecnologías



Figura 11 Abastecimiento de agua en cada una de las tecnologías y con su respectivo etiquetado.

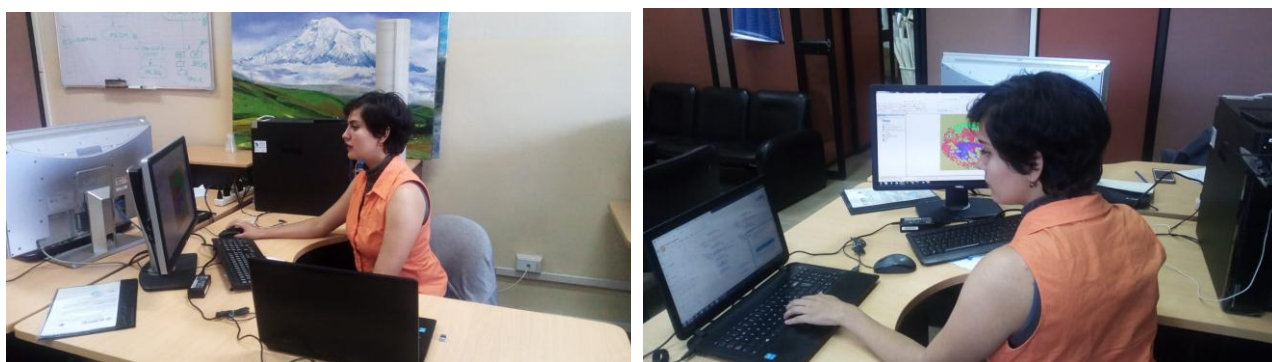


Figura 12 Proceso metodológico multitemporal