

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE TOPOGRAFÍA CATASTRO Y GEODESIA

MONITOREO DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA DENTRO DE LOS
LÍMITES DEL HUMEDAL NACIONAL TÉRRABA SIERPE MEDIANTE EL USO DE
TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN POR LA APLICACIÓN DE IMÁGENES
SATELITALES Y AÉREAS.

MODALIDAD: PROYECTO DE GRADUACIÓN

YENDRY CORDERO HERNÁNDEZ
ESTEFANNY MORA MORA

TUTOR: LIC. ALEXANDER GONZÁLEZ

CAMPUS OMAR DENGO
HEREDIA, COSTA RICA
OCTUBRE, 2017

JUSTIFICACIÓN

Los humedales son un elemento importante del medio natural que interactúa con la sociedad y sirve a esta de diferentes formas tales como el suministro de agua dulce, alimentos, materiales de construcción y biodiversidad, así como el control del aumento del caudal de las corrientes de agua, recarga de aguas subterráneas y la mitigación del cambio climático (Rudolf de Groot, Mishka Stuip, Max Finlayson, Nick, 2007).

Los humedales tienen una dinámica que propicia la variabilidad espacial y temporal de sus diversas características como el valor natural de la vegetación ya que funciona como barrera de protección de las costas contra los vientos, mareas y erosión; además, tiene influencia directa en la cadena alimenticia marina, porque presenta una producción de gran cantidad de hojarasca y materia orgánica, que es utilizada por las bacterias y hongos, para convertirlo en materia prima, la cual va a ser fuente de energía en los ecosistemas marino-costeros y la biota asociada. (Acuña, 2016)

La cual se entiende como conjunto de la fauna y la flora de una región, este término se refiere además a los hongos, las bacterias y protistas que habitan un bioma, y su papel clave dentro del ciclo hidrológico, esta dinámica también refleja factores socioeconómicos sobre los cuales es necesario disponer del conocimiento que sirva de base para una gestión orientada a la sostenibilidad de la relación sociedad-humedales (José Iannacone, 2007).

Dado que en la actualidad dentro de esa dinámica se están haciendo notorios procesos como el cambio climático y el cambio de uso del suelo, es necesario enfocar la mirada sobre estos y su relación con los humedales.

El manejo adecuado de los humedales constituye un reto mundial, se han llevado a cabo diversas convenciones a nivel internacional una de las primeras convenciones fue Ramsar, este es un antiguo acuerdo intergubernamental sobre el medio ambiente, el tratado se negoció en el decenio de 1960 entre países y organizaciones no gubernamentales preocupadas por la creciente pérdida y degradación de los hábitats de humedales, la cual se adoptó en la ciudad de Irán de Ramsar en 1971.

A nivel mundial el primer sitio Ramsar, fue la península de Cobourg la cual se encuentra en Australia, fue declarada como tal el 8 de mayo de 1974. La península de Cobourg, una remota zona silvestre y virgen en la costa más septentrional de Australia da cobijo a muchas especies marinas amenazadas y proporciona un lugar seguro de reproducción y cría a varias colonias de aves marinas.

Después de dicha convención el 1 de diciembre de 1974 se llevó a cabo la Conferencia de Heiligenhafen, Alemania, en esta se adoptan los primeros "Criterios que se han de emplear para identificar Humedales de Importancia Internacional" en donde los objetivos básicos del convenio han sido: impedir la pérdida progresiva de humedales, y asegurar su conservación, la de su flora y la de su fauna, armonizando unas políticas sectoriales nacionales previsoras, con una acción internacional coordinada.

De aquí en adelante se han llevado a cabo aún más conferencias a nivel mundial en busca de alto crecimiento de dichos sitios para así en el 2002 lograr alcanzar la meta de importancia Internacional de la Convención la cual superara los 2.000 Sitios Ramsar.

Este esfuerzo trae consigo el establecimiento de relaciones de cooperación entre países, como lo es el caso de Costa Rica la convención de Ramsar entro en vigor el 27 de abril de 1992.

El país tiene actualmente 12 sitios designados como Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar), con una superficie de 569,742 hectáreas. Sin embargo más adelante para el año de 1998 se realizó un inventario de los humedales más reconocidos determinado aproximadamente un 30% de estos están protegidos y de estos 12% han sido declarados de importancia Internacional por los sitios Ramsar como se puede apreciar en la figura N°1.



Figura N°1 Sitios Ramsar, Caso Costa Rica Fuente <http://www.proyectohumedales>

En Costa Rica uno de los principales sitios de interés, es el Humedal Nacional Térraba Sierpe declarado patrimonio nacional en 1991 y posteriormente Humedal de Importancia Internacional por la Convención Ramsar en 1995. (Acuña, 2016)

Se encuentre en la cuenca baja de los ríos Grande de Térraba y Sierpe es el humedal más grande del país (24 730.5 ha) y uno de los más importantes en términos de diversidad ecológica. Está ubicado en la provincia de Puntarenas, cantón de Osa, en los distritos Puerto Cortés, Sierpe y Piedras Blancas. (Acuña, 2016)

Está conformado por un bosque de manglar con una aproximación de 14.637 hectáreas, conocido como un humedal estuarino intermareal, asociado con un humedal palustrino boscoso su clasificación, está caracterizada por bosques inundados por la influencia de las mareas ((BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2012).

El Humedal Térraba-Sierpe es un complejo de ambientes entre los que se encuentran canales mareales, playones, lagunas, pantanos, manglares y bosques, variedad que también se ve reflejada en la rica y abundante flora y la fauna que allí habita. Entre los ecosistemas acuáticos naturales se encuentra el estuarino, donde se desarrollan los manglares, que destacan por la diversidad de especies de mangle; este ecosistema ocupa la mayor superficie dentro del humedal (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2012). La flora está representada por especies adaptadas a este tipo de ambiente donde se combina el agua dulce de los ríos con el agua salada del mar.

Cumple un papel de reservorio de carbono, los resultados de algunos estudios como el elaborado por BIOMARCC-SINAC-GIZ demuestran que el almacena el 40% del carbono del país (Acuña, 2016); por ende la disminución de su cobertura vegetal ocasionaría daños en el ambiente.

Los diferentes usos de suelo que presenta y rodea al Humedal Nacional Térraba–Sierpe son: manglar, vegetación asociada al humedal, bosque natural, palma aceitera, yolillo, pasturas, arrozales, cultivos y plantaciones, lagos y lagunas, poblados, entre otros (Figura 2). (Miranda, 2013)

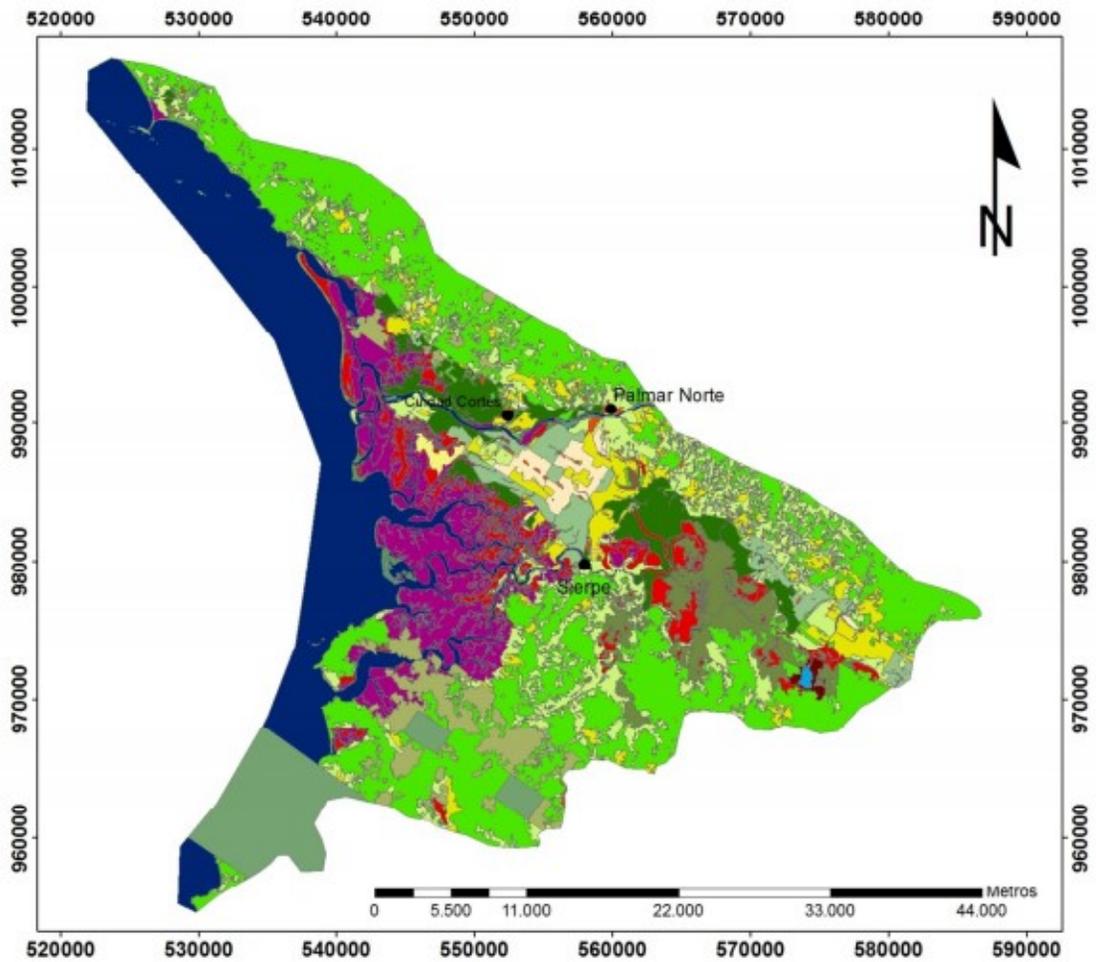
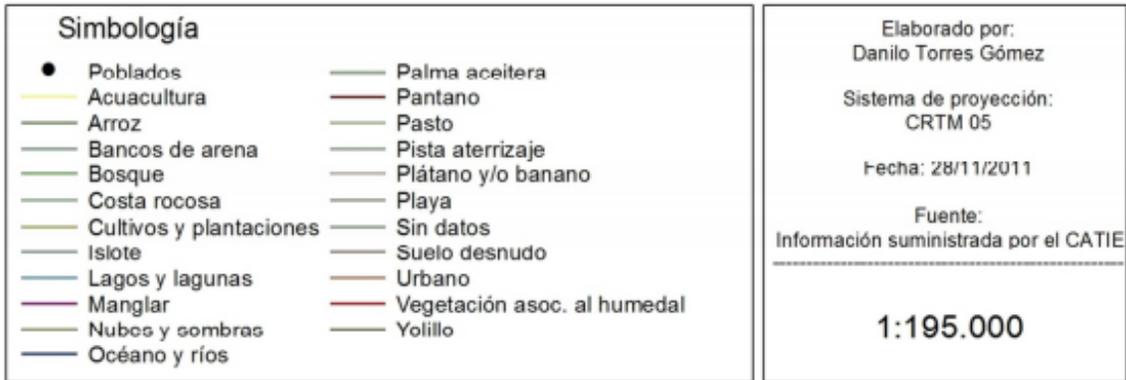


Figura N°2 Mapa de uso de la tierra del Humedal Nacional Terraba–Sierpe, Costa Rica.

Fuente: Miranda, 2013.

Además de su importancia ecosistémica, él representa una fuente primordial para las comunidades aledañas por la abundancia de recursos naturales, y a nivel económico debido a la dependencia de miles de familias ya que este reporta índices elevados en actividades por concepto de alimentos, agua potable, fibras, maderas, combustibles, ecoturismo, materias primas y otros. (Miranda, 2013)

Otra temática es la inscripción en las zonas de protección, como lo es caso de 4 fincas inscritas expuestas por el Registro Inmobiliario, como se aprecia en la figura N° 4, asimismo, el mapa de tenencia de tierra muestra 61 ocupaciones.

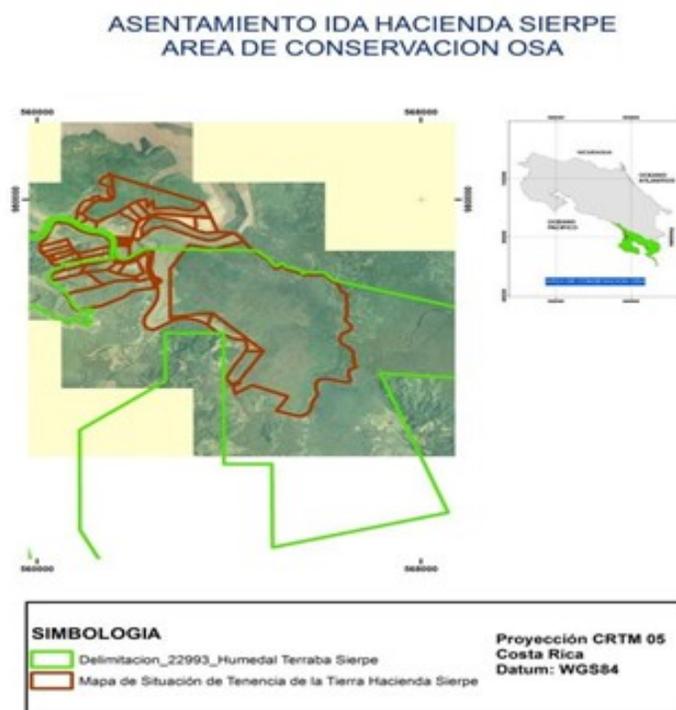


Figura N°3. Mapa tenencia hacienda Sierpe.

Fuente: Miranda, 2017

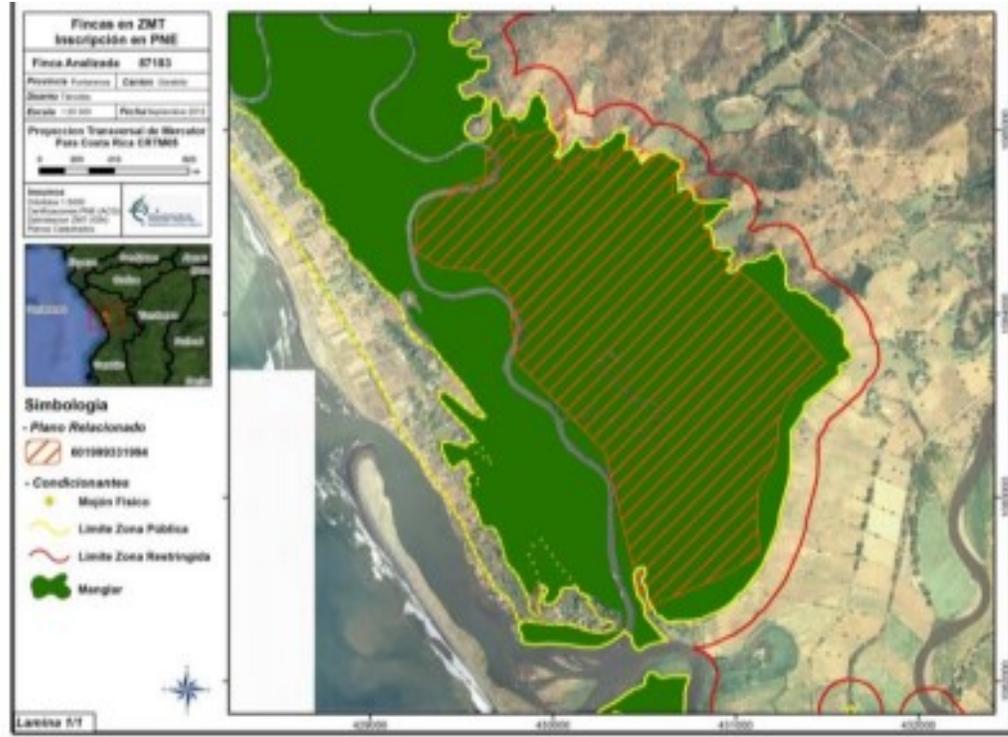


Figura N°4. Finca inscrita en el Manglar colorado de Abangares.

Fuente: Miranda, 2013

Dichas usurpaciones en el territorio de los sitios de conservación han ocasionado la pérdida del hábitat en el humedal y no solo en el HMTS, sino a nivel nacional, para actividades destinadas a la agricultura y desarrollo urbano e industria. (Miranda, 2013)

Por estas razones, existe la necesidad de actualizar la información relacionada con la cobertura del humedal Nacional Térraba-Sierpe, aplicando nuevas metodologías de delimitación ajustable a la funcionalidad ecosistémica.

Por lo tanto se ha creado el Proyecto Humedales es una iniciativa de apoyo al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC/MINAE), administrado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). (Proyecto Humedales, 2017).

Su nombre completo es “Proyecto Conservación, uso sostenible de la biodiversidad y mantenimiento de los servicios de los ecosistemas de humedales protegidos de importancia

internacional". Tiene como objetivo la mejora de la gestión y actividades del SINAC en cuanto a la protección de los más de 2500 humedales de Costa Rica, en especial los 12 humedales declarados de importancia internacional, también llamados sitios Ramsar, los cuales son Palo Verde, Caño Negro, Las Baulas, Terraba-Sierpe, Gandoca-Manzanillo, Caribe Noreste, Isla del Coco, Potrero Grande, Laguna Respingue, Embalse Arenal, Turberas de Talamanca y Maquenque. (Proyecto Humedales, 2017). El proyecto trabaja de la mano con las Áreas de Conservación.

Además de la realización de este proyecto es importante poder implementar una propuesta de monitoreo constante, la cual debe ser precisa y menos costosa para el SINAC, para poder llevar a cabo el monitoreo por medio de imágenes satelitales actuales.

A su vez, dado que es necesario tener en cuenta que la delimitación es un proceso de gestión que implica la toma de decisiones, se establecen criterios de análisis de actores expertos en la clasificación del humedal y el estudio institucional llevado a cabo por el proyecto Humedales del SINAC para actualizar el inventario de estos, haciendo una evaluación para influenciar en las políticas del uso de la tierra de los humedales, ya que una cobertura exhaustiva de la tenencia de tierra ocasionaría emplear técnicas de evaluación rápida así darle prioridad y someterlas a un análisis más detallado determinando cuales son los humedales más amenazados, esto permitirá que se le preste mayor atención a estos humedales para establecer cuales actividades de desarrollo agrícola o industrial están afectando aún más (Jiménez, 2017).

Llevando así un análisis de políticas de uso agrícola, relacionadas con el agua para determinar en qué medida contribuyen a la pérdida del humedal y prestar atención cuales las políticas de drenaje agrícola actuales contribuyen a la degradación de la base de recursos de los humedales (Jiménez, 2017).

Además de llevar a cabo el mejoramiento de protección de los humedales realizado hasta la actualidad, ya que los humedales son excepcionalmente ricos en diversidad o en abundancia de especies, deben de contar con mayores medidas de monitoreo y control, siendo este uno de los objetivos a llevar a cabo en el proyecto y aumentar así la

representatividad ecológica de los humedales de importancia internacional de Costa Rica, incorporando 20.000 hectáreas más de ecosistemas de humedal a la categoría Ramsar.

ANTECEDENTES

Costa Rica cuenta con antecedentes importantes en la conservación de los humedales desde hace varias décadas. En el año de 1942, la Ley de Aguas establece áreas de protección en la zona costera, ríos, lagunas, lagos, entre otros.

Posteriormente en 1977 la Ley N°6043 sobre la Zona Marítimo Terrestre establece una franja de 200 metros a partir de la pleamar ordinaria que constituye parte del Patrimonio Natural del Estado (PNE) cuya jurisdicción corresponde a las municipalidades costeras y la divide en dos zonas:

- a. Pública (50 metros desde la pleamar ordinaria, así como islotes, peñasco y todos los manglares y esteros litorales, independientemente de su extensión) y
- b. Restringida (150 metros posteriores a la zona pública, o en el caso de los manglares, a partir de la línea de vegetación de los mismos y hasta su límite posterior).

Continuando con este proceso, en 1992 la Ley N° 7317 de Conservación de la Vida Silvestre, introduce el término de “Humedal” a nivel legal y asigna dentro de las funciones de la Dirección General de Vida Silvestre (ahora Sistema Nacional de Áreas de Conservación al unificarse en la Ley N° 7788 de Biodiversidad en el artículo 22), la responsabilidad de administrar, supervisar y proteger los humedales.

Como parte de esta transformación en 1991 se ratifica la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como hábitat de Aves Acuáticas (Ramsar), adquiriendo sus disposiciones carácter de Ley de la República, y entre 1993 y 1994 se declaran 13 áreas silvestres protegidas bajo la categoría de Humedal.

El último dato oficial corresponde al arrojado por el Inventario Nacional de Humedales de Costa Rica de 1998, el cual fue patrocinado por el SINAC - MINAE, la Embajada Real de los Países Bajos y la Unión Mundial para la Naturaleza. En este inventario se estableció una cifra para Costa Rica de 359 humedales, reconocidos, con una extensión aproximada de 350.000 ha, ubicados únicamente dentro de las once Áreas de Conservación que forman el sistema eco-regional de protección y conservación de la biodiversidad. (Córdoba Muñoz, 1998)

Para iniciar el proceso se realizó una encuesta con el objetivo de definir el nivel y cantidad de conocimiento e información que se tenía sobre estas áreas de interés, la cual fue enviada a los funcionarios y profesionales de diferentes instituciones u organizaciones que trabajan o investigan los humedales del país, comprobando la poca documentación ya que la existente era de difícil acceso y la dificultad de acceder a ella. (Córdoba Muñoz, 1998).

Luego se elaboró una segunda encuesta, solicitando aspectos físicos, químicos, biológicos y sociales de cada uno de los humedales en estudio. Posteriormente se realizó un taller de consulta sobre la encuesta y la metodología recomendada sobre la distribución, flujo, recepción y procesamiento de los datos recopilados de las encuestas. Consecuentemente se optó porque la información debía ser enviada a las diferentes Áreas de Conservación del (SINAC). Se explicó el procedimiento de entrega de información, brindar las capacitaciones sobre el proceso y de realizar la colecta de las encuestas de cada una de las sedes administrativas (Córdoba Muñoz, 1998)

Personal de cada área de conservación fue asignado para que recopilara la información de campo, la ordenara y transforme en el formato suministrado. Con ayuda de especialistas en flora, fauna, geografía, biología, informática y administración de áreas silvestres, corroborando detalles como nombres científicos, nombres vernaculares, ubicación, situación del humedal como área protegida, estado en el que se encuentra el sitio en relación a su aprovechamiento y amenazas (Córdoba Muñoz, 1998).

La información obtenida fue conciliada con la información existente en el Instituto Geográfico Nacional (mapas 1:200000, imágenes de satélite y otras fuentes de información), lo que permitió actualizar los datos. Estos resultados se incorporaron dentro de una base electrónica del programa ACCESS 2.0 y entregado al SINAC como responsable de la administración, conservación y usos racionales de los humedales (Córdoba Muñoz, 1998)

Continuando con esta perspectiva de inventario, además de los resultados de 1998, se cuenta con bases cartográficas importantes como lo es el mapa auspiciado por el programa Uso y Conservación de Humedales de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional elaborado en 1993 con el apoyo de la UICN. En este mapa

denominado “Humedales de Costa Rica” se identificaron 227 humedales, categorizados en esteros, lagos, pantanos y cursos fluviales (Reyes, V. et al. 2004).

El último esfuerzo realizado hasta el momento data del año 2005, cuando se realizó el “Inventario de Cuerpos de Agua Continentales de Costa Rica con énfasis en la Pesca y la Acuicultura”, mediante el Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental (PREPAC), desarrollado por la Organización del Sector pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano (OSPESCA), gracias al apoyo económico del Gobierno de Taiwán y el soporte administrativo del Organismo Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Como resultado de este Inventario y sin considerar aquellos que aparecen en la cartografía básica sin ningún nombre, se identificaron 499 cuerpos de agua, específicamente continentales, los cuales abarcaban un área mínima registrada de 678.33 kilómetros cuadrados. De estos 499 cuerpos de agua continental, se pudo comprobar que trece ya no existían, a pesar de estar reportados en el Inventario de 1998 y seguir apareciendo en los mapas. En ese momento se contabilizaron 169 comunidades de influencia de los cuerpos de agua, y una población total de beneficiarios directos e indirectos de los servicios ecosistémicos de 246,489 habitantes (Reyes, V. et al. 2004).

Debido a esta inconsistencia de datos y a los diferentes enfoques y metodologías utilizados, el Proyecto Humedales “Conservación, uso sostenible de la biodiversidad y mantenimiento de los servicios ecosistémicos de los ecosistemas de humedales protegidos de importancia internacional”, administrado por el PNUD y bajo el amparo del SINAC-MINAE, se encuentra elaborando la última actualización del inventario, a través de una metodología más completa y abarcando la totalidad de las Áreas de Conservación como parte de este proceso se han logrado determinar dentro del Área de Conservación Amistad Pacífico más de mil ecosistemas de humedal (Reyes, V. et al. 2004).

MARCO TEÓRICO CON LOS ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DEL TEMA.

En esta sección se realizará una explicación teórica desde el enfoque de la geomática hasta planteamientos jurídicos, con el objeto de aportar una serie de explicaciones conceptuales.

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación es una dependencia del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), creado mediante el artículo 22 de la Ley de Biodiversidad N° 7788, publicada en La Gaceta N° 101 del 27 de mayo de 1998.

El SINAC es un sistema de gestión y coordinación institucional, desconcentrado y participativo, con personalidad jurídica instrumental, que integra las competencias en materia forestal, vida silvestre, áreas protegidas y la protección y conservación del uso de cuencas hidrográficas y sistemas hídricos, con el fin de dictar políticas, planificar y ejecutar procesos dirigidos a lograr la sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales de Costa Rica (SINAC 2016).

Es un concepto de conservación integral, que ofrece la posibilidad de desarrollar una gestión pública responsable, con la participación del Estado, la Sociedad Civil, la empresa privada, y de cada individuo del país interesado y comprometido con la construcción de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado (SINAC 2016). Territorialmente, el SINAC está dividido en once áreas de conservación, en donde se interrelacionan actividades tanto públicas como estatales y se buscan soluciones conjuntas.

Las once áreas de conservación son las siguientes:

- Área de Conservación Arenal Huetar Norte (ACAHN)
- Área de Conservación Arenal Tempisque (ACAT)
- Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC)

- Área de Conservación Guanacaste (ACG)
- Área de Conservación La Amistad Caribe (ACLA-C)
- Área de Conservación La Amistad-Pacífico (ACLA-P)
- Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC)
- Área de Conservación Osa (ACOSA)
- Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC)
- Área de Conservación Tempisque (ACT)
- Área de Conservación Tortuguero (ACTo)

Después de establecer claramente las fuentes primarias partícipes del proyecto de debe de dar a conocer la normativa legal de la importancia y definición de los humedales para el país ya que estos dependen no solo de factores científicos, sino que también de aspectos económicos, sociales, políticos y culturales desde un punto de vista ecológico, para que un ecosistema sea catalogado como humedal debe cumplir con las siguientes tres características: permeabilidad de los suelos; presencia de vegetación hidrófila; y una pendiente menor o igual al 5% (Mario Peña Chacón, 2017) , por lo tanto según Ley de Conservación de la Vida Silvestre, artículo 2: *“Humedales: Extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.”*

Detallando además la Ley Orgánica del Ambiente, la cual establece en el artículo 40: *“...los ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, lénticos o lóticos, dulces, salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral o, en su ausencia, hasta seis metros de profundidad en marea baja”*

Ambas definiciones ayudan a la clasificación del sistema ecosistémico del humedal ya que existen diferentes categorías basado en el Decreto N° 35803-MINAET “Criterios Técnicos para la Identificación, Clasificación y Conservación de Humedales”. Disponible en La Gaceta N° 73 del 16 de abril de 2010:

- Sistema fluvial: el cual se comprende como agua en movimiento es el agente geológico más importante erosionando, transportando y depositando sedimento:
Su clasificación:
 1. Ríos
 2. Arroyos permanentes 3.
 3. Estacionales
 4. Irregulares

Sistema estuario:

- Estuarios.
- -Humedales intérmareales arbolados: mánegales, pantanos de “nipa” bosques inundaciones o inundables mareales de agua dulce.
- - Pantanos y esteros (Zonas inundadas) intermareales, maristas, zonas inundaciones con agua dulce y salobre inundadas por la mareas

Sistema marino:

Consiste en las áreas litorales a los flujos de aguas oceánica, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamos marinas o arrecifes de coral o , en su ausencia, hasta 6 metros de profundidad en marea baja:

Lechos marinos submareales praderas de algas, de pastos marinos y praderas de marinas mixtas tropicales.

- Costas marinas rocosas, incluye islotes rocosos y acantilados
- Aguas marinas someras permanentes bahías y estrechos
- Playas de arenas o de guajarros: bancos, cordones, puntas e islotes de arena
 - - Arrecifes de coral

- SISTEMA LACUSTRINO

- Lagos permanentes de agua dulce, incluye grandes madre Viejas(meandros o brazos muertos del rio)

- Lagos o lagunas estacionales- intermitentes de agua dulce, incluye lagos en llanuras de inundación.
- Lagos o lagunas permanentes salinos- salobres- alcalinos.
 - Lagos y zonas inundaciones – intermitentes salinos- alcalinos.
- SISTEMA PALUSTRINO:
 - Yolliales, bosques anegados de agua dulce
 - Pantanos- esteros- charcas permanentes salinas- salobres- alcalinos
 - Pantanos- esteros- charcas estacionales- intermitentes- permanentes.
 - Pantanos y esteros sobre suelos inorgánicos, con vegetales emergentes en agua por lo menos durante la mayor parte del periodo de crecimiento.
 - Pantanos- estacionales- charcas estacionales- intermitentes de agua dulce sobre suelos dulce suelos inorgánicos
 - Turberas no arboladas
- -Humedales boscosos de agua dulce.

Es importante destacar que los Manglares los cuales son ecosistemas dominados por un grupo de especies vegetales arbóreas que han adaptado a nivel fisiológico, reproductivo y estructural lo que les permite colonizar áreas anegadas y sujetas a la influencia de mareas de las costas tropicales y subtropicales protegiendo del oleaje (Mainardi, 1996), para así llevar a cabo la clasificación de los humedales los cuales se debe generar una base de datos, que considere los criterios de agua, suelo y vegetación, definiciones, convenciones y protocolos en humedales, así como también los metadatos con los que se trabajara.

La clasificación debe ser jerárquica y considerar la geomorfología, geología, régimen de inundación, así como criterios funcionales para conservar y restaurar, además esta debe ser objetiva, con atributos estructurales y basarla en función de los humedales patrimonio nacional. De aquí la importancia de establecer la línea límite del humedal, teniendo en cuenta con la escala que se trabajara para la delimitación de los metadatos y la definición clara del humedal como se establece según el Artículo 16 de la Ley forestal N°7575 Linderos El Ministerio del Ambiente y Energía delimitará, en el terreno, los linderos de las áreas que conforman el patrimonio natural del Estado. El procedimiento de deslinde se fijará en el reglamento de esta ley.

Además de comprender el catastro forestal, también expuesta en la Ley forestal N°7575, en su ARTÍCULO 17: El Ministerio del Ambiente y Energía coordinará, con el Registro Nacional, el establecimiento de un catastro forestal, cuyo objetivo será regular las áreas comprendidas dentro del patrimonio natural del Estado y las que voluntariamente se sometan al régimen forestal.

Y por último existe una gran cantidad de humedales ubicados en terrenos privados sobre los cuales existía una discusión jurídica acerca de si estos humedales constituían Patrimonio Natural del Estado con las restricciones de uso señaladas en la Ley Forestal (artículo 18), así como a quien le corresponde la administración, en razón, que la administración de los humedales considerados Patrimonio Natural del Estado corresponde al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) 30. Recientemente la Sala Constitucional al resolver la Acción de Inconstitucionalidad que se tramitó bajo el expediente N° 12-011423-0007-CO, contra los artículos 1 y 5 de la Ley N°7744, aclaró en la Resolución 2016-003855 del 15 de marzo del 2016 que no todos los humedales forman parte del Patrimonio Natural del Estado (PNE), sino sólo aquellos que están en bienes de dominio público, pues pueden existir humedales en propiedad privada, pero que también están sujetos a una protección jurídica especial en razón que las actividades que se pueden desarrollar en ellos, están sujetas a ciertas limitaciones, pues no excluye normas y protocolos de tutela preventiva a la que debe someterse toda propiedad privada en donde haya un humedal o el concesionario de un humedal. El legislador costarricense, por su uso múltiple, optó por declarar de interés público la totalidad de humedales del país, estén o no protegidos por las leyes que rijan esta materia, así como su conservación, y estableció la prohibición de realizar actividades orientadas a interrumpir los ciclos naturales, como la construcción de diques que eviten el flujo de aguas marinas o continentales, drenajes, desecamiento, relleno o cualquier otra alteración que provoque el deterioro y la eliminación de tales ecosistemas, exigiendo también que cualquier actividad que se realice de previo debe someterse al proceso de Evaluación de Impacto Ambiental ante la Secretaria Técnica Nacional Ambiental (Artículos 17,41, 44 y 45 Ley Orgánica del Ambiente). Además, la Sala Constitucional en la Resolución N° 2016-003855, señala “que a modo de ejemplo y sin excluir otro tipo de protección establecido en otras normas, se debe acatar las disposiciones que definen las conductas prohibidas que establece la Ley de Conservación de Vida Silvestre,-como:

- Drenar, secar, rellenar o eliminar lagos, lagunas no artificiales y los demás humedales, declarados o no como tales sin previa autorización del SINAC (Artículo 98),
- Arrojar aguas servidas, aguas negras, lodos, desechos o cualquier sustancia contaminante en manantiales, ríos, quebradas, arroyos permanentes o no permanentes, lagos, lagunas, marismas y embalses naturales o artificiales, esteros, turberas, pantanos, humedales, aguas dulces, salobres o saladas, en sus cauces o en sus respectivas áreas de protección (Artículo 128),
- Pescar en aguas continentales -ríos, riachuelos y quebradas hasta su desembocadura, lagos, lagunas, embalses, esteros y demás humedales-, de propiedad nacional, empleando explosivos, arbaletas, atarrayas, chinchorros, líneas múltiples, trasmallo o cualquier otro método que ponga en peligro la continuidad de las especies; pescar en aguas continentales, empleando venenos, cal o plaguicidas;
- Dañar a las poblaciones de especies objetivo de la pesca, a las especies capturadas incidentalmente y a los ecosistemas de los cuales estas dependen para llevar a cabo sus funciones biológicas, como ecosistemas marinos, marinos costeros, coralinos, rocosos, manglares, ríos, esteros, estuarios y bancos de pastos;
- Extraer o destruir, sin autorización, las plantas o sus productos en áreas oficiales de protección o en áreas privadas debidamente autorizadas (Artículo 90)
- La invasión de humedales y sus áreas de protección, sancionando incluso penalmente (artículo 58 de Ley Forestal). “

Estas restricciones a la propiedad privada con ecosistemas de humedal tienen el fundamento jurídico, en lo que establece el artículo 8 de la Ley de Biodiversidad N° 7788 de 27 de mayo de 1998 publicado en La Gaceta N°101 del 27 de mayo de 1998, que establece la función ambiental de la propiedad inmueble al enfatizar que; como parte de la función económica y social, las propiedades inmuebles deben cumplir con una función ambiental. La propiedad que soporta estas limitaciones está en la obligación de manejarlos de acuerdo a la legislación nacional e internacional vigente:

Sentencia N°2011-00429 Tribunal Agrario expone:

“(…) entre los límites más importantes impuestos a la propiedad, para garantizar la función económica, social y ambiental, pueden destacarse los siguientes:

A.- El ejercicio de toda actividad agroambiental, que pueda alterar o destruir elementos del ambiente, requiere necesariamente de una evaluación de impacto ambiental, cuya aprobación debe ser previa al proyecto. También se exige la evaluación cuando por obras o infraestructura

Puedan afectarse recursos marinos, costeros y humedales.

B.- El ordenamiento territorial, para equilibrar el desarrollo sostenible, implica la reubicación territorial de las actividades productivas, lo que podría significar límites importantes al derecho de propiedad, pues deben tomarse en consideración, entre otros aspectos, los recursos naturales, las actividades económicas predominantes, la capacidad de uso de los suelos y la zonificación por productos y actividades agropecuarias, en razón de consideraciones ecológicas y productivas.

C.- El Poder Ejecutivo está facultado para incluir dentro de las áreas silvestres protegidas las fincas de particulares necesarias para el cumplimiento de la función ambiental, o crear las servidumbres legales para la protección ecológica. En los casos donde la Ley exija indemnización, los particulares pueden someterse voluntariamente al régimen forestal, caso en el cual la propiedad queda afectada en el Registro Público (Ley Orgánica del Ambiente, artículo 37).

D.- Están prohibidas las actividades orientadas a interrumpir los ciclos naturales de los Ecosistemas de humedales, que puedan provocar su deterioro y la eliminación (Ley orgánica del Ambiente, artículo 45).

E.- Las actividades productivas deben evitar la contaminación del agua, dar tratamiento a las aguas residuales, impedir o minimizar el deterioro o contaminación de cuencas hidrográficas, así como del suelo.

F.- La agricultura orgánica, como forma de ejercicio de actividades agrarias sostenibles, implica una forma de cumplimiento de la función económica, social y ambiental, pues se exige una certificación ambiental de los productos orgánicos que se hayan obtenido sin aplicar insumos o productos de síntesis química (artículos 73-75).

G.-El crédito ambiental: está destinado a financiar los costos de reducción de la contaminación en procesos productivos. Cuando implican el uso del suelo se requiere un plan de manejo y uso de tierras de conformidad con la capacidad de uso (Ley Orgánica del Ambiente, artículo 113 (...)).”

De esta forma se concluye que todos los humedales, sean o no declarados por el Estado, formen parte o no de áreas silvestres protegidas, o del Patrimonio Natural del Estado, o aun los que están en propiedad privada, por ser declarados de interés público deben ser protegidos. Como parte de esta protección consiste, en emitir una política pública que marque dentro de su ruta, acciones para gestionar la conservación y uso racional de los ecosistemas de humedal conforme con los compromisos nacionales e internacionales que ha adquirido el país con estos ecosistemas.

Ya que Costa Rica dispone de un marco institucional para la protección de los recursos naturales, resultado de convenios, convenciones y protocolos internacionales, ratificados mediante leyes específicas que respaldan el marco jurídico nacional. La Constitución Política de la República de Costa Rica responsabiliza al Estado de la protección del ambiente: *“El Estado procurará el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza. Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por ello, está legitimada para denunciar los actos que infrinjan ese derecho y para reclamar la reparación del daño causado. El Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho. La ley determinará las responsabilidades y las sanciones correspondientes.”* (Artículo N° 50 Constitución Política de la República de Costa Rica).

El Ministerio de Ambiente y Energía, mediante el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), es el ente responsable de ejecutar el mencionado mandato constitucional y el acatamiento a las leyes y decretos que conforman el resguardo del patrimonio nacional de estado, como se describe en Ley Orgánica del Ambiente N° 7554: De conformidad con el documento base de la Política Nacional de Humedales (PNH), la Ley Orgánica del Ambiente, define en su artículo 40 a los humedales como ecosistema convertido en objeto de tutela jurídica (Herrera, 2015).

Tal y como resaltan todos los intervinientes en el presente proceso, el término humedal está contemplado en la Ley Orgánica del Ambiente en dos dimensiones: la de espacio o ecosistema y como categoría de manejo de las áreas silvestres protegidas. En el primer

caso, el término "humedal" es el nombre con que se conoce a un determinado ecosistema cuya particularidad principal es la presencia de un suelo con características especiales que permiten que el agua depositada en un territorio se almacene de forma permanente o intermitente (pero con un periodo determinado de inundación o espejo de agua) y cuya condición permite la adaptación de variadas especies de flora y fauna que lo hacen especial, definición que coincide con la de la Convención de Ramsar. El aspecto principal para el reconocimiento de un ecosistema de humedal radica en sus características ecológicas: a) tipo de suelo (suelos hídricos o hidromórficos), b) vegetación hidrófila (plantas adaptadas a suelos inundados, anaeróbicos en la mayoría de los casos), c) fauna dependiente de este régimen y ecosistema y, d) condición hídrica (relativo al clima), pero según la presencia y distribución de las especies presentes se clasifica de acuerdo a su patrón distintivo. En su segunda dimensión, el término "humedal" no está asociado al referido concepto técnico, sino a la figura de Área Silvestre Protegida como una categoría de manejo al amparo del artículo 32 de la Ley Orgánica del Ambiente."

Otra normativa a considerar para la definición de la delimitación del humedal- manglar es Ley de zona marítima terrestre N°6043 la cual acata las siguientes Disposiciones generales:

Artículo 1°—Ámbito de aplicación. El presente Reglamento regula la actividad relacionada con la delimitación de la Zona Pública de la Zona Marítimo Terrestre, y el procedimiento a seguir en las diferentes modalidades de delimitación existentes.

Artículo 2°—Definiciones. Para efectos del presente reglamento, los siguientes términos y conceptos se definen de la siguiente manera:

Patrimonio Natural del Estado: Constituido por los bosques y terrenos forestales de las reservas nacionales, de las áreas declaradas inalienables, de las fincas inscritas a su nombre y de las pertenecientes a municipalidades, instituciones autónomas y demás organismos de la Administración Pública, excepto inmuebles que garanticen operaciones crediticias con el Sistema Bancario Nacional e ingresen a formar parte de su patrimonio.

Zona Marítimo Terrestre: Franja de doscientos metros de ancho a todo lo largo de los litorales Atlántico y Pacífico de la República, cualquiera que sea su naturaleza, medidos horizontalmente a partir de la línea de la pleamar ordinaria y los terrenos y rocas que deja el

mar en descubierto en la marea baja. Para todos los efectos legales, la Zona Marítimo Terrestre comprende las islas, islotes y peñascos marítimos, así como toda tierra o formación natural que sobresalga del nivel del océano dentro del mar territorial de la República. Se exceptúa la Isla del Coco que estará bajo el dominio y posesión directos del Estado y aquellas otras islas cuyo dominio o administración se determinen en la presente ley o en leyes especiales. La Zona Marítimo Terrestre se compone de dos secciones: la Zona Pública y la Zona Restringida.

Zona Pública: Faja de cincuenta metros de ancho a contar de la pleamar ordinaria, y las áreas que quedan al descubierto durante la marea baja; así como los islotes, peñascos y demás áreas pequeñas y formaciones naturales, que sobresalgan del mar corresponden a la zona pública. La zona pública es también, sea cual fuere su extensión, la ocupada por todos los manglares de los litorales continentales e insulares y esteros del territorio nacional.

Zona Restringida: Franja de los ciento cincuenta metros restantes contiguos a la Zona Pública, o por los demás terrenos en caso de islas.

Contemplando las disposiciones generales expuestas en la ley de zona marítimo terrestre se puede establecer que los manglares o bosques salados que existen en los litorales continentales o insulares y esteros del territorio nacional y que forman parte de la zona pública en la zona marítima terrestre, constituyen Reserva Forestal y están afectos a la Ley Forestal y a todas las disposiciones de este decreto. Partiendo de la línea de vegetación a la orilla de los esteros y del límite de los manglares o bosques salados cuando éstos se extiendan por más de 50 metros de la pleamar ordinaria, comienza la zona restringida.

Además en el Artículo 22 de la Ley de zona marítimo terrestre , en la zona pública no se permitirá el desarrollo de obras de infraestructura ni construcciones que no sean para uso público, o se trate de instalaciones turísticas estatales, cuando el tipo de desarrollo se refiera a esteros o manglares, o puedan afectarse éstos, deberá consultarse la opinión del Ministerio de Agricultura y Ganadería sobre las consecuencias de las condiciones ecológicas de dichos lugares. por lo tanto cualquier trámite que se requiera llevar a cabo en dichas zonas deben de consultarse para establecer si estas cumplen con lo establecido o bien si se quiere llevar a cabo la inscripción de planos de catastro cerca de los manglares, esto es expuesto en el Artículo 17 de la ley de zona marítimo terrestre la cual establece que

para Visado de planos. La publicación de la delimitación de la Zona Marítimo Terrestre, constituye el elemento fundamental para el visado de los planos de agrimensura por parte del IGN, dicho visado se hará a instancia de parte y representa requisito fundamental para la inscripción de los planos en la Subdirección de Catastro Nacional del Registro Inmobiliario. No se eximen de tal formalidad, aquellos planos ubicados en litorales con presencia de manglares y esteros sin delimitar, por tanto requerirá demarcación de la Zona Pública con la monumentación de mojones o la delimitación digital georeferenciada, y así proceder con el visado, debiéndose observar lo dispuesto en el Decreto Ejecutivo N° 35869-MINAET del 24 de marzo del 2010.

Artículo 19.—Delimitación de la zona pública a través de la colocación de mojones. El IGN establecerá la demarcación de la Zona Pública, con la instalación de mojones, los cuales deben estar debidamente georeferenciados al sistema nacional de coordenadas, como puntos producto del trazo de 90° perpendiculares a la curva de nivel de 115 centímetros en el litoral Pacífico y a la curva de nivel de 20 centímetros en el litoral Caribe. La línea descrita por los mojones es la que delimita la Zona Pública como franja de 50 metros entre la línea y el mar y desde la línea de mojones hasta 150 metros hacia tierra firme, corresponde a la franja de la Zona Restringida.

En caso que lo que se pretende delimitar es el sector costero, será necesario la colocación de postes de concreto reforzados con varilla de acero, con un diámetro de 12 centímetros por un metro de longitud y empotrado 60 centímetros, pintados de color amarillo caterpillar y una base piramidal rectangular de concreto de 10 centímetros de altura y de 45 centímetros y 50 centímetros de lados sobre la que se gravará su número y año de instalación.

En las áreas de manglar, cada mojón corresponderá a un poste de concreto circular, cuadrado o rectangular de una longitud total mínima de 1.50 metros, empotrados 50 centímetros en concreto, pintado de color amarillo caterpillar y se grabará o pintará su número.

Con fundamento en estudios técnicos que lo justifiquen, se podrá instalar otro tipo de mojón o poste, siempre que cumpla efectivamente su función de delimitar de manera clara y precisa la Zona Pública.

Artículo 22.—Distancias a cumplir en la delimitación de la Zona Pública. Para garantizar la línea de la Zona Pública y una correcta demarcación de la misma, la distancia entre un mojón y otro o el trazo de la línea digital georeferenciada, debe obedecer a la descripción con mayor exactitud de aproximación al contorno mismo, de la pleamar ordinaria, de manera que se permiten en costas irregulares una densificación mayor, y en costas regulares mojones más distanciados.

Será necesario indicar en los contratos que se suscriban, que la colocación de mojones deberá estar distanciada máxima cada 50 metros en secciones de litorales regulares, y en secciones de litoral irregular se colocarán mojones en cada inflexión determinante de la línea de la Zona Pública, con el fin de definir de forma certera el contorno de dicha línea.

En áreas de manglar será necesario colocar mojones en cada inflexión determinante de la línea de la Zona Pública.

Una vez comprendido cada una de las terminaciones jurídicas comprendidas en los humedales, el proyecto aplicará teledetección como una nueva metodología para delimitar el humedal por lo es de suma importancia definir cada una de las etapas a llevar a cabo en el proceso de clasificación. La teledetección es una técnica que emplea la energía electromagnética, tal como la luz, el calor y las ondas de radio como medio para la detección y medición de las características de un objeto en la superficie, sin que haya contacto físico con el sensor. Permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas satelitales o aéreas. Se asume que existe entre el suelo y la radiación electromagnética, interacciones medidas y/o emitida por el sensor (Sabins, 2000).

Por otra parte, la teledetección se asume como una técnica que es capaz de suministrar información a distancia de los objetos situados en la superficie terrestre, además incorpora elementos como una fuente de energía, cubierta terrestre como lo es el bosque, el agua, o el suelo y como elemento extra el sensor remoto, el sistema de recepción, la interpretación y el usuario final (Chuvienco, 2010). Para el caso particular de esta investigación es

sumamente importante el sistema de captura de información territorial a partir de la radiación electromagnética captada por el sensor.

Los humedales tradicionalmente se han delimitado mediante mapas, fotointerpretación o bien el duro trabajo de campo que conlleva medir los humedales para poder delimitar su línea de propiedad, sin embargo el uso de nuevas tecnologías derivadas de las imágenes de vehículos aéreos no tripulados y imágenes de satélite, de los cuales dichos insumos ofrecen información adicional a partir de otros canales del espectro electromagnético. Así se obtiene una valiosa información de las características subsuperficiales (humedad, temperatura, presencia de materia orgánica, etc.), no perceptibles en las fotografías aéreas convencionales (García et al., 2006) y permite obtener su delimitación sobre grandes áreas en distintos momentos (De Roeck, et al., 2008).

La interpretación de imágenes de satélite de gran resolución espacial y espectral permite detectar las masas de agua contaminadas y cartografiar con exactitud la extensión, intensidad y variabilidad de los procesos contaminantes (Hodgson et al., 1987, Patience et al., 1993, Jong, 1994, Fraser, 1998; Sydor, 1998; García et al., 1999; Polvorines, et al., 2001; Reese et al., 2002; Ruíz-Verdú, et al., 2003). La utilización de imágenes de distintas fechas permite conocer también la evolución de la contaminación y la respuesta de los humedales a las medidas de restauración y conservación.

Los sensores remotos se consideran el marco de estudio de la Teledetección, son a las vez objetos que proporcionan las herramientas necesarias para darle una correcta interpretación al espacio (Chuvieco, 2010). Los sensores remotos son la ciencia y el arte de obtener información de un objeto, área o fenómeno por medio del análisis de datos adquiridos mediante un dispositivo, el cual no está en contacto directo con el objeto, área o fenómeno de interés (Pérez, 2005).

Es necesario la aplicación del concepto de firma espectral, la cual contempla todos los elementos geográficos (bosques, cultivos, ríos, lagos, edificios, etc.) transforman de forma diferenciada la radiación electromagnética que reciben del Sol. Cada tipo de objeto presenta a un nivel de respuesta específico en términos de: % radiación reflejada + % absorbida + %

transmitida, por lo tanto la variación de la reflectancia en función de la longitud de onda se la denomina firma o signatura espectral.

La firma espectral es pues la medida cuantitativa de las propiedades espectrales de un objeto en una o varias bandas espectrales. También se la conoce como comportamiento espectral, concepto que incluye la variabilidad temporal de las firmas espectrales, así como su variación en función de las condiciones meteorológicas, de las estaciones del año, y de las condiciones de iluminación. Gracias a estos datos es posible identificar en una imagen de teledetección la naturaleza de un objeto. La firma espectral de la vegetación verde está identificada por tener un claro contraste entre el rojo del visible y el infrarrojo cercano (Lobo, 1995). Mientras en la región visible, los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la luz que reciben, en el infrarrojo cercano estas sustancias son bastante transparentes. Por lo cual, la vegetación sana brinda baja reflectividad en la banda roja del espectro (entre 600 y 700 nm) y alta en el infrarrojo próximo (entre 800 y 1000 nm), de manera que cuanto mayor sea el “vigor” que muestra la vegetación, mayor será el contraste entre los valores de reflectancia captados en ambas bandas.

La firma espectral de la vegetación verde está identificada por tener un claro contraste entre el rojo del visible y el infrarrojo cercano (Lobo, 1995). Mientras en la región visible, los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la luz que reciben, en el infrarrojo cercano estas sustancias son bastante transparentes. Por lo cual, la vegetación sana brinda baja reflectividad en la banda roja del espectro (entre 600 y 700 nm) y alta en el infrarrojo próximo (entre 800 y 1000 nm), de manera que cuanto mayor sea el “vigor” que muestra la vegetación, mayor será el contraste entre los valores de reflectancia captados en ambas bandas.

Para comprenderlo mejor es necesario definir el espectro electromagnético ya que este ayuda a distinguir el tipo de energía radiante en función de la longitud de onda o frecuencia. Además aunque la sucesión de valores de longitud de onda es continua, suelen establecerse una serie de bandas en donde la radiación electro-magnética manifiesta un comportamiento similar, como se muestra a continuación:

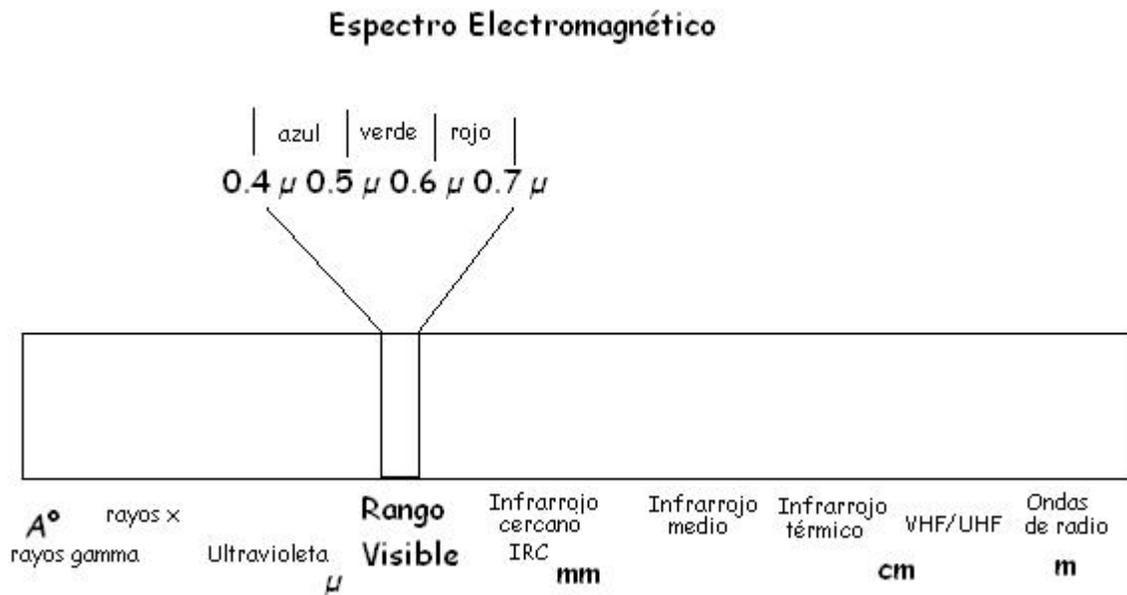


Imagen N°-- Espectro Electromagnético

La organización de estas bandas de longitudes de onda o frecuencia, comprende un continuo de la longitudes de onda más cortas estos son los rayos gamma, o los rayos x, desde el punto de vista de la teledetección se comprende destacar las bandas espectrales, las cuales son las que les dan más uso para la tecnología actual.

Su clasificación más importante se da en:

- Espectro visible: 0.4 a 0.7 um: esta se denomina así por tratarse de la única radiación electro- magnético que pueden percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar.

- Suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul 0.4 a 0.5 μm , verde 0.5 a 0.6 μm y rojo 0.6 y 0.7 μm , estos son los colores elementales asociados a esa longitudes de onda.
- Infrarrojo próximo 0.7 a 1.3 μm , a veces se conoce como infrarrojo reflejado y fotográfico, puesto que puede detectarse de films dotados de emulsiones espaciales.
- Infrarrojo medio 1.3 a 8 μm en donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.
- Micro- ondas a partir de 1mm con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente empleadas en teledetección.

Ahora bien ya conociendo las diferentes clasificaciones de estructura de onda espectral se deben de considerar los factores que modifican la firma espectral, ya que las diferentes coberturas de la superficie terrestre no tienen un comportamiento espectral único y permanente, que coincida con las curvas de reflectancia espectral, además de conocerlas sin confusión frente a más superficies. La resolución de un sistema sensor hace referencia a su “habilidad” para discriminar información (Fig. 3.4).

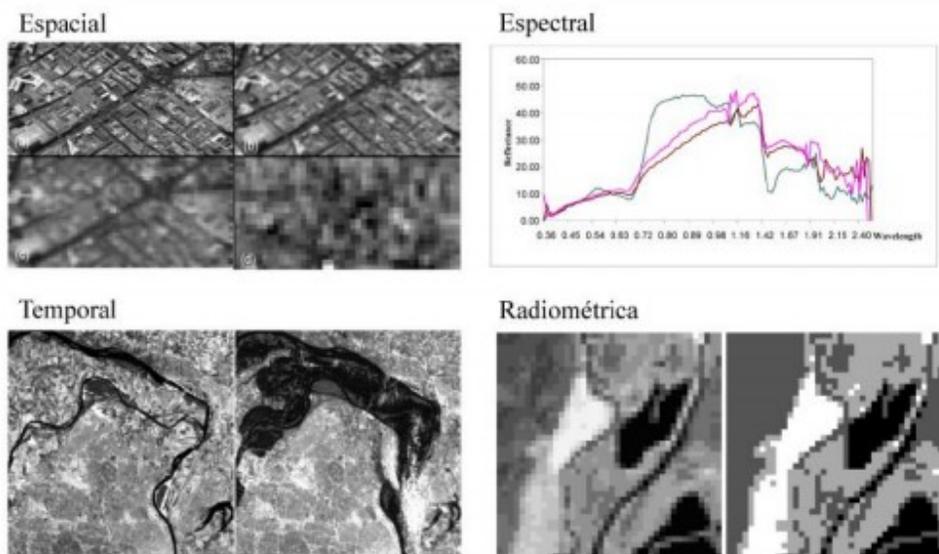


Figura 5. Tipos de resoluciones de un sistema sensor Fuente Chuvieco, 2006.

Resolución Angular

Hace mención a la capacidad de un sensor para observar la misma zona desde distintos ángulos (Diner et al. (1999) en Chuvieco (2008)). La resolución angular depende de la de onda en la que trabaja el sistema y la apertura del sistema.

Resolución Espacial

La resolución espacial hace referencia a la identificación del objeto más pequeño sobre la imagen, remarcando el nivel de detalle que ofrece la misma (Fig. 3.5). Se pueden identificar los objetos que superen el tamaño del pixel. Para los sensores ópticos la resolución espacial depende de la distancia al objeto, la apertura y longitud de onda del sistema.

$$\Delta x = \lambda L \cdot D \quad (1)$$

Donde:

λ = longitud de onda

L = apertura focal

D = distancia al objeto

Y el segundo por la dirección del movimiento del satélite. La combinación de ellos define el área iluminada por el radar. La resolución espacial está ligada con la escala de trabajo y su interpretación.

Resolución Espectral

La resolución espectral indica el número de bandas espectrales que puede discriminar el sensor. La información multispectral cobra un gran interés ya que detecta en distintas bandas el comportamiento de los objetos presentes en la superficie. Cuantas más bandas

espectrales proporcione el sensor, las coberturas podrán ser caracterizadas espectralmente mejor, en la figura 3.6 se observa el comportamiento espectral de la reflectividad (en %) de las coberturas típicas, definida como la relación entre la energía reflejada y la incidente. Si las bandas son estrechas, la señal obtenida será coherente al espectro. Si las bandas son más amplias, se registra un valor promedio que puede encubrir las diferencias espectrales entre distintas coberturas. Cabe destacar que, entre los sensores remotos, los de radar y los sistemas fotográficos son los de menor resolución espectral.

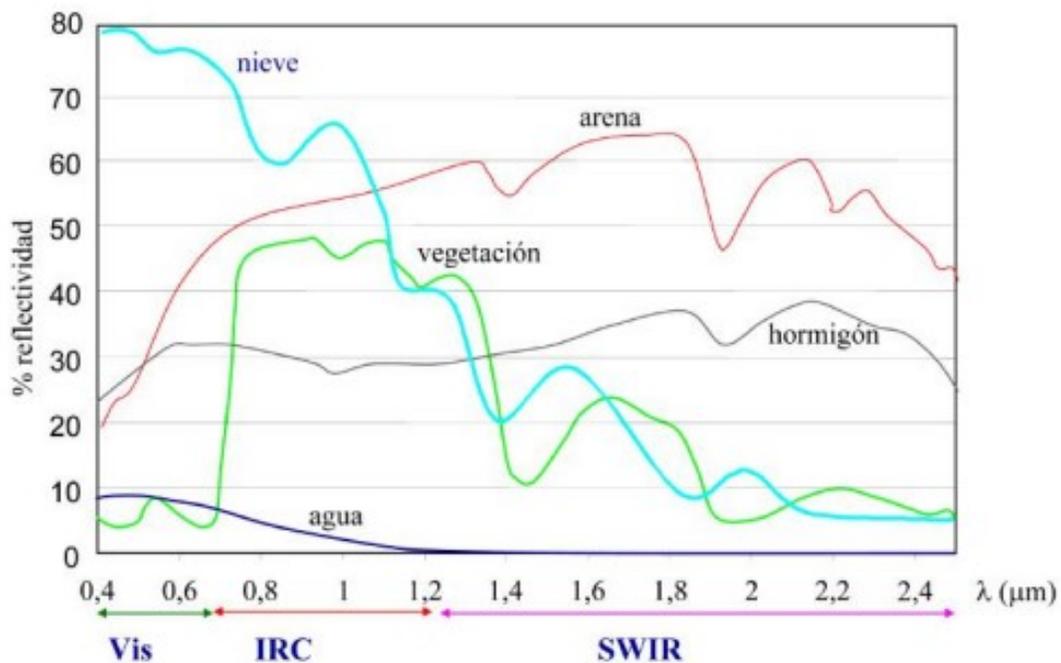


Figura 6. Firmas espectrales de coberturas típicas Fuente. Chuvieco, 2006

Resolución Radiométrica

La resolución radiométrica hace mención a la sensibilidad del sensor para detectar variaciones de radiancia espectral. Para los sistemas digitales la imagen se codifica en sistema 28 binario. La resolución radiométrica suele identificarse con el número de bits que necesita cada valor numérico para almacenarse, por ejemplo, el sensor ETM del Landsat 7 posee una resolución radiométrica de 8 bits ($2^8 = 256$ niveles de grises). (Chuvieco, 1996).

Resulta muy importante este tipo de resolución para la interpretación de imágenes en análisis digital. Es importante resaltar que el número de niveles de gris que puede discriminar el ojo humano, no supera los 64 y las tonalidades de color las 200.000.

Resolución Temporal

Se refiere a la frecuencia de cobertura de una misma porción de la superficie por el sensor. Esta frecuencia depende de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), el diseño del sensor y el tamaño de la imagen (ángulo total de abertura). Por ejemplo, el satélite Landsat 5 gira alrededor de la tierra 14 veces al día, teniendo una revisita del mismo sitio cada 16 días.

Una vez comprendido el tipo de resolución se establece los Principios de radiación en donde Cualquier elemento emite radiación la cual depende de su temperatura y condiciones físicas, por ejemplo un cuerpo negro es un receptor y emisor de radiaciones, por lo tanto toda emisión se encuentra en función de la temperatura, por lo tanto la cantidad de energía que contiene un flujo radiante es inversamente proporcional al flujo de onda.

$$M_{n\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \{ \exp(hc / \lambda kT) - 1 \}} \quad (2)$$

$M_{n\lambda}$, es la emitancia radiactiva espectral de un cuerpo negro a una longitud de onda λ es la constante de Planck ($6.626 \cdot 10^{-34}$) k la constante de Boltzman ($1.38 \cdot 10^{-23}$ W s²/k), c la velocidad de la luz, λ longitud de onda, y la temperatura absoluta del cuerpo en kelvin. Después se puede calcular, la longitud de onda a la cual se produce la mayor emitida de un cuerpo conociendo su temperatura, esta es conocida como la ley de Heyen:

$$\lambda_{\max} = 2898 \text{ umk/T} \quad (3)$$

El objetivo de esta ley es permitir la escogencia de la banda espectral más efectiva para la identificación de un fenómeno, mediante el conocimiento de su temperatura.

Reflexión

La energía solar devuelta al espacio y observada por los sensores de los satélites, se encuentran en la banda visible (0.4 - 0.7mm). Esta región las propiedades de reflectividad de la tierra y de la atmósfera son fundamentales. Sin embargo, el cociente entre la energía reflejada y la radiación incidente es conocido como reflectancia de un objeto.

Dispersión

La dispersión ocurre cuando la radiación incidente es difuminada por los gases que forman la atmósfera, en la dispersión no hay absorción de energía, de nuevo la dispersión es función de la longitud de onda y del tamaño de las partículas difusoras, en la aproximación de las partículas o moléculas son más pequeñas que la longitud de onda y el grado de dispersión es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda.

Características del agua en el espectro visual

Las superficies acuáticas absorben o transmiten la mayor parte de la radiación visible que reciben, siendo así mayor su absorptividad cuando mayor sea la longitud de onda. Ya que la curva espectral, es similar al del suelo, aunque de sentido contrario. La mayor reflectancia se produce en color azul, acercándose considerablemente al infrarrojo cercano, donde ya es prácticamente nula.(Chuvieco,2010).

Comportamiento espectral de la vegetación en el infrarrojo térmico

Las propiedades térmicas de la vegetación son bastante complejas, puesto que absorben una gran cantidad de la energía solar que recibe para realizar la función clorofílica. Esta energía es remitida durante la noche para mantener el balance energético. Por esta razón, la temperatura media de las masas vegetales es más baja que el aire circulante a lo largo del día y más alta durante la noche (Chuvieco, 2010).

La incidencia teriaca de la vegetación es alta, gracias a su importancia contenido de humedad, todo esto se basa en un elemento básico de análisis de la vegetación.

Clasificación no supervisada del espectro electromagnético.

En la clasificación no supervisada no se establece ninguna clase a priori, aunque es necesario determinar el número de clases que se quiere la clasificación no supervisada no se establece ninguna clase a priori, aunque es necesario determinar el número de clases que se quiere establecer, y se utilizan algoritmos matemáticos de clasificación automática. Los más comunes son los algoritmos de clustering que divide el espacio de las variables en una serie de regiones de manera que se minimice la variabilidad interna de los píxeles incluidos en cada región (Chuvieco, 2000).

Cada región de este espacio de variables define de este modo una clase espectral establecer, y se utilizan algoritmos matemáticos de clasificación automática. Los más comunes son los algoritmos de clustering que divide el espacio de las variables en una serie de regiones de manera que se minimice la variabilidad interna de los píxeles incluidos en cada región. Cada región de este espacio de variables (figura N°7) define de este modo una clase espectral (Chuvieco 2000).

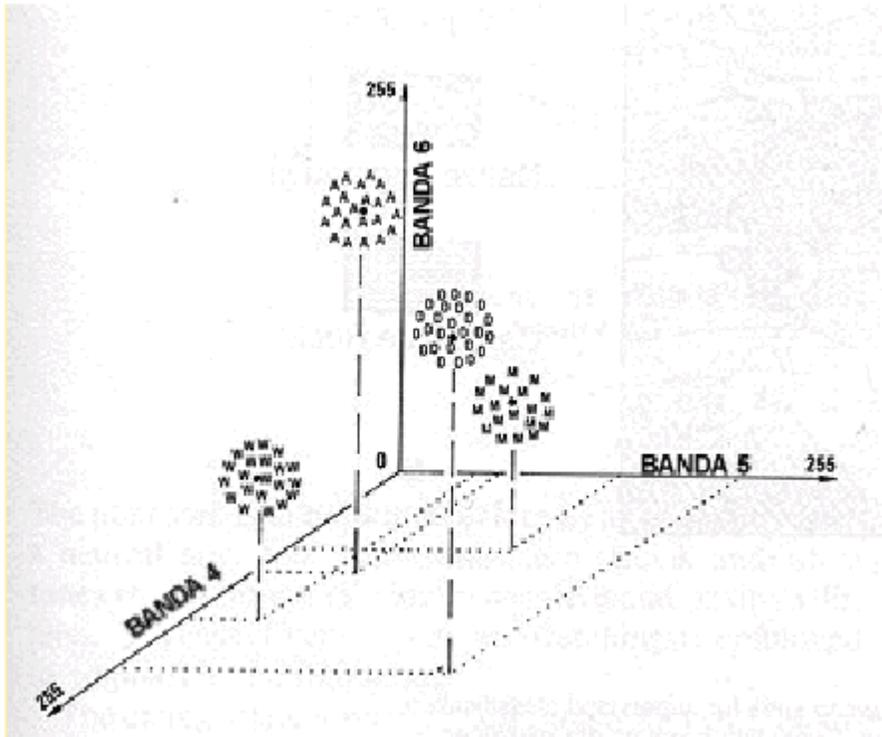


Figura 7. Definición no supervisada de clases en el espacio de variables. Fuente

La principal ventaja que ofrecen los métodos no supervisados es que la intervención humana se centra en la interpretación más que en la consecución de los resultados. Lo que buscan estos métodos es definir los grupos o categorías que intervendrán en lo que sí podría llamarse “clasificación” (Chuvieco, 2000).

Clasificación supervisada del espectro electromagnético.

La clasificación supervisada se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento. Se trata de áreas de las que se conoce a priori la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una firma espectral característica de cada una de las clases. Se denominan clases informacionales (Chuvieco, 2000).

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG se consideran como programas que son capaces de almacenar, gestionar, manipular y proporcionar una representación gráfica de la información recopilada, donde demuestra un panorama del espacio (Chuvienco, 2010). Por otra parte, se definen como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Brenes, 2006.).

Los Fundamentos de empleados para el análisis de la información espacial

La Corrección de la imagen satelital Se pueden hacer diferentes tipos de corrección sobre una imagen de sensor remoto pero debe tenerse especial cuidado ya que estos afectan los procesos posteriores que se desean realizar. Por ende es importante mostrar el grado de abstracción y análisis que se hace antes de someterla a la clasificación. Se describe la estructura de la imagen y las posibles fuentes de error con el fin de aclarar sobre cuales se puede operar sin alterar de forma negativa los procesos siguientes.

El funcionamiento de los sensores satelitales se hace por exploración secuencial de la superficie terrestre adquiriendo la radiación de los objetos que estén consignados en un área que depende de la resolución espacial del sensor. Esta área constituye la unidad mínima de información en la imagen denominada píxel (pictureelement) y la unión de estos cuadros es la que forma una imagen.

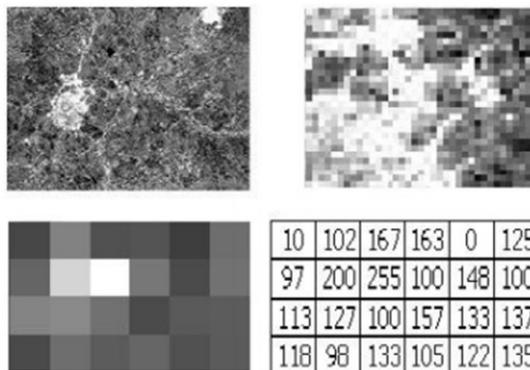


Figura N. 8 Pixeles de una imagen digital ampliada y sus valores de radiancia.

El nivel de gris que toma cada píxel se define por un valor numérico que algunos autores definen como Nivel Digital (ND) (Chuvieco, 2000). A partir de lo anterior, la imagen digital puede esquematizarse como una matriz numérica en tres dimensiones donde X y Y corresponden a las coordenadas geográficas, Z a la dimensión espectral (ver figura N°4).

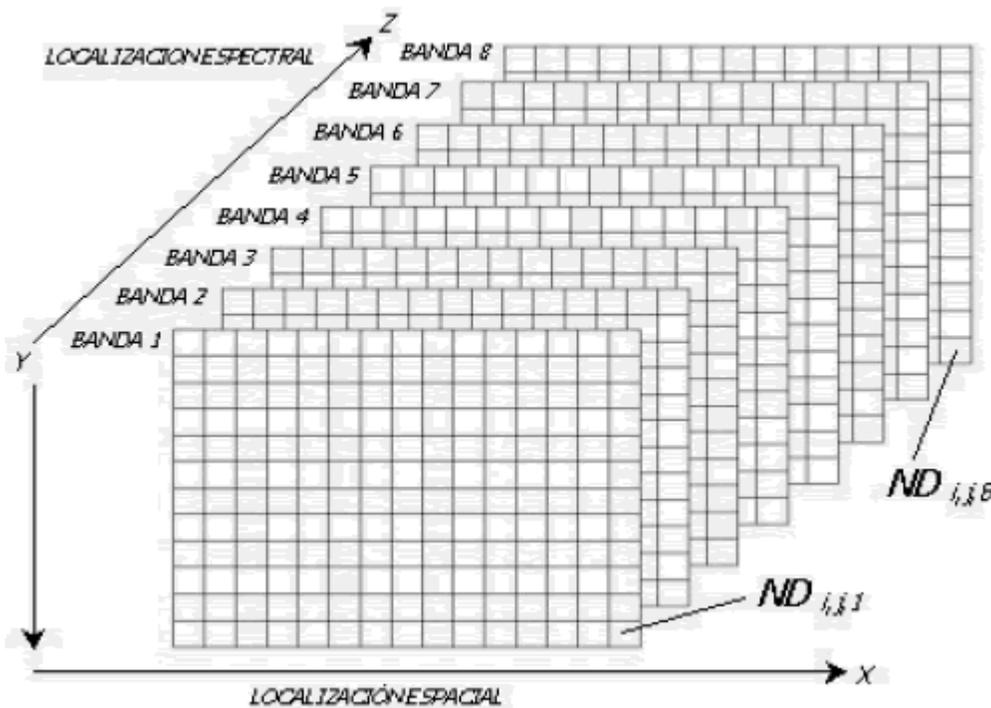


Figura N. 9 Organización de datos de ocho bandas espectrales sobre una misma escena.

Por otro lado, las imágenes de sensores remotos presentan unas alteraciones radiométricas y geométricas que hacen que éstas no coincidan con el tono, posición, forma y tamaño de los objetos que incluye. En el caso de las imágenes satelitales las deformaciones se pueden agrupar en cuatro tipos (Mather, 1989):

- Distorsiones originadas por la plataforma.
- Distorsiones provocadas por la rotación terrestre.
- Distorsiones provocadas por el sensor.

- Distorsiones provocadas por la atmósfera.

Algunos de estos problemas se solucionan en el centro de recepción de las imágenes y otros se solucionan con correcciones radiométricas y geométricas. Pero en general, estas correcciones modifican los niveles digitales y no se harán con el fin de disminuir el tiempo de tratamiento y abordar el trabajo con los valores originales. Ahora, considerando que la reflectividad es la relación entre la energía reflejada y el incidente, tenemos que la primera se obtiene de los datos medidos por el sensor ya que éste mide radiancia espectral que es consecuencia de la reflexión de la radiación electromagnética en las cubiertas, más la influencia de la atmósfera. Para hacer un cálculo preciso de la reflectividad real de la cubierta se deben considerar muchos factores (Chuvieco, 2000).

En este caso el método de corrección atmosférica se basa en las características de la banda del infrarrojo cercano (ver tabla N°1). Otro aspecto a considerar es el comportamiento espectral de la vegetación. Éste debe entenderse desde el conocimiento de la estructura interna de la hoja individual (Todt, 1998).

Generalidades para la interpretación de las imágenes satelitales e imágenes aéreas.

Para una buena interpretación de imágenes es de suma importancia una serie de alternativas como el fenómeno de interés, su debida resolución espacial requerida para la delimitación del humedal, resolución temporal y radiométrica, la escala de estudio, el sensor, el nivel de detalle que se obtiene.

La naturaleza de la radiación electromagnética puede ser explicada a partir de dos modelos aparentemente contradictorios y en el fondo complementario. El modelo de onda asume que la radiación se produce en forma de ondas que resultan de oscilaciones en los campos eléctrico y magnético en las inmediaciones de los objetos y se desplazan por el espacio a la velocidad de la luz. Las ondas se definen fundamentalmente por su longitud (λ) o distancia entre dos picos de onda (se mide en μm , es decir 10^{-6} metros). El modelo de partícula asume que la energía viaja como un flujo de elementos discretos: los fotones. La energía

transportada por cada fotón (Q) depende de la longitud de onda, de este modo ambos modelos se relacionan mediante la ecuación:

$$Q = hc / \lambda \quad (4)$$

Por ende a mayor longitud de onda o menor frecuencia el contenido energético será menor y viceversa. La solución de la radiación en longitudes de onda largas es más difícil de detectar que las que se centran en las longitudes cortas, de ahí que las primeras requieren más sofisticados medios de detección (chuvieco , 2000). Esto para la determinación de cada una de las bandas de clasificación de las principales fuentes principales: el sol, la tierra, y la atmósfera. Por lo tanto la radiación electromagnética incidente de origen solar es afectada por la atmósfera por diferentes procesos de transmisión, y absorción.

Por otro parte la perspectiva vertical asociada a los procesos de transmisión y absorción , conllevan una perspectiva vertical y panorámica, dando paso a los alcances más significativos del proceso de sistemas de teledetección espectral, con el fin de comprender todos estos aspectos, se investiga la forma en la que se componen las distintas coberturas de esas bandas del espectro, ya que por ejemplo el ojo humano percibe el color verde de los vegetales, la nieve blanca y los suelos rojo, pero no saben cómo se resaltan dichas figuras en el infrarrojo cercano, térmico a la zona de las microondas, sin embargo en el visible como en otras banda, la percepción se puede discriminar gracias al comportamiento espectral.

La calidad de las imágenes depende del tipo de sensor, por ejemplo sensores ubicados a grandes alturas no son capaces de entregar información de alta resolución. Sin embargo se puede hacer una clasificación de los diferentes tipos de bandas:

| Banda Espectral | Aplicaciones |
|-----------------------|--|
| Azul (0.45- 0.5 um) | Penetración del agua, uso de la tierra, características de la vegetación de la tierra. |
| Verde (0.5 - 0.6 um) | Reflexión verde de la vegetación sana. |

| | |
|--------------------------------------|---|
| Rojo (0.6- 0.7 um) | Discriminación de la vegetación por la Absorción de la clorofila. |
| Pancromatico (0.5- 0.75) | Trazado del uso de la tierra. |
| Infrarrojo reflectivo (0.75 - 0.9) | Biomasa, identificación de cultivos, limitantes de tierra y agua. |
| Infrarrojo medio (1.5 - 1.75) | Cantidad vegetación, zonas áridas, nubosidad, hielo, nieve. |
| Infrarrojo medio (2-2.35) | Geología, formación de rocas. |
| Infrarrojo Térmico (1.0 - 12.5) | Diferenciación temperatura, descargas térmicas, clasificación |
| Microonda de onda corta (0.1 - 5 cm) | Cubrimiento de la nieve, profundidades, contenido del agua en la vegetación. |
| Microonda de onda larga (5 - 24 cm) | Medidas del suelo, límites entre tierra y agua, penetración de la vegetación. |

Tabla 1. Aplicaciones de las diferentes bandas espectrales.Fuente: Fundamentos de teledetección espacial.

Definición de equipo y Características técnicas de trabajo y software a utilizar

Vehículos aéreos no tripulados

Un vehículo aéreo no tripulado (VANT) o también conocido como DRONE que se traduce como “zángano”, el término se adaptó para el lenguaje Español, pero su nombre original en idioma Inglés es: UAV “UnmannedAerialVehicle” o UAS “UnmannedAerialSystem” es un vehículo sin tripulación reutilizable, capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido, y propulsado por un motor de explosión, eléctrico, o de reacción. Originalmente estos dispositivos fueron diseñados para uso militar, ya que permiten hacer misiones de vuelo sin tripulantes guiados a control remoto desde tierra sin sacrificar la seguridad de un piloto, pero con los años su uso se extendió para múltiples áreas (Puerta, 2015).

Existen 2 tipos:

- Ala Rotatorio :

Es aquel dron en el que las alas, en este caso también denominadas “palas”, giran alrededor de un eje, consiguiendo de este modo la sustentación. Dependiendo del número de rotores y/o de su configuración, los drones de ala rotatoria pueden subdividirse en los siguientes tipos

- Ala fija:

Son aquellos drones en los cuales las alas se encuentran unidas/encastradas con el resto de elementos de la aeronave, y no poseen movimiento propio. Estas aeronaves generan la sustentación básicamente por los planos, cuyo perfil aerodinámico está diseñado específicamente para crear diferencia de presión entre el intradós (parte inferior) y el extradós (parte superior).

Los drones de ala fija dependiendo de la ubicación del ala pueden subdividirse en:

1. Ala alta:

Drones con el ala ubicada en la parte superior del fuselaje. Este tipo de ala proporciona una gran estabilidad a la aeronave, en detrimento de su maniobrabilidad

2. Ala media:

Dron con el ala ubicada en la parte media del fuselaje. Esta disposición del ala aporta a la aeronave un equilibrio entre estabilidad y maniobrabilidad.

3. Ala baja

Dron con el ala ubicada en la parte inferior del fuselaje. Este tipo de ala facilita la maniobrabilidad.

4. Ala volante

En este tipo de dron el ala conforma la mayor parte del fuselaje (en algunos casos carece totalmente de un fuselaje diferenciado).

En su conjunto, los tipos de drones de ala fija se caracterizan por poseer una estructura simple, con una elevada eficiencia aerodinámica, lo que permite a estas aeronaves poseer un alto rendimiento energético. Estas características les permiten presentar tiempos de vuelo relativamente elevados.

Sin embargo, estas aeronaves requieren de elementos y/o infraestructuras externas para poder realizar el despegue y el posterior aterrizaje, lo cual eleva el nivel de complejidad en la ejecución de la misión de vuelo. El nivel de maniobrabilidad es mucho menor al que poseen las aeronaves de ala rotatoria, lo que les impide ser utilizados en espacios de alta complejidad y de poca extensión

Equipo

El proyecto humedales del Sistema Nacional de Áreas de Conservación, cuenta con un Vehículo aéreo no tripulado de ala fija, marca UX5hp Trimble, es un sistema de cartografía aérea profesional, diseñado para capturar la máxima precisión de imagen, para aplicaciones de levantamiento. Hecho de espuma resistente al impacto, que puede soportar temperaturas extremas, vientos de hasta 55 km/h y lluvia, entre sus principales características se tiene:

- Una potente cámara (SONY 7R) que captura cuatro bandas (azul, verde, rojo e infrarrojo cercano), además tiene selección de lentes de cámara disponibles para la máxima flexibilidad del sistema.
- Alto rendimiento del receptor GNSS Trimble con la tecnología Post-Processed Kinematic (PPK)
- Sensor CMOS Full Frame de alta resolución de 36MP
- Resolución de ortofotos hasta 1cm y modelos 3D con hasta 1.000 pts/m²
- Alta precisión en las mediciones sin utilizar Puntos de Control.
- Flujos de trabajo totalmente automatizado con Trimble Access, para facilitar un uso y funcionamiento seguros
- Procesamiento de datos mediante la utilización del módulo de fotogrametría de Trimble Business Center.
- Procesamiento de datos avanzados con Trimble UAS Master de Inpho.

Software de procesamiento:

Las imágenes pueden ser procesadas en varios software, entre los que destaca en ENVI ya que es un software completo de visualización y análisis de las imágenes obtenidas en la teledetección. Posee un interfaz lógico e intuitivo que permite leer, visualizar y analizar diferentes formatos de imágenes, de todos los tamaños y en un gran número de plataformas.

Además, ENVI incluye el lenguaje de desarrollo IDL (Interactive Data language) que permite extender las funcionalidades de ENVI y crear rutinas propias.

Este software permite el procesamiento de diferentes tipos de imágenes (satélite, radar o aéreas). Soporta una gran gama de formatos de imágenes (los formatos de los principales proveedores de imágenes de satélite, aéreas ó radar), vectores (formatos de los principales SIG) y MDT (modelo digital del terreno), y puede ser programado muy fácilmente para que incluya otros formatos específicos.

En cuanto al tratamiento de imágenes: pre-proceso, análisis de componentes principales, índice de vegetación, filtros como:

- Ajuste: georeferenciación, ortorectificación, mosaicos.
- Análisis multiespectral e hiperspectral: ORI, clasificaciones supervisadas o no supervisadas, post-clasificaciones, librerías espectrales.
- Análisis Radar: mono-banda, polarimétrico.
- Herramientas de vectores: creación o edición de capas de vectores, consulta de atributos.
- Visualización 3D interactiva: Composición de mapas.

Imágenes de satélite Rapideye

Esta imagen se encuentra en formato raster, el cual consiste en una matriz de miles de píxeles, en donde cada píxel tiene un valor digital o de reflectancia, por ejemplo si la resolución de la imagen es de 30 metros, cada píxel muestra un área en la superficie terrestre de 30x30 metros es decir unos 900 metros cuadrados, dando paso a la firma espectral o reflectancia de todos los objetivos existente en una superficie de 900 metros cuadrados.

La imagen de satélite Rapid Eye se encuentra el Laboratorio PRIAS, este posee imágenes de alta calidad idóneas para este tipo de trabajos de teledetección ya que Las imágenes Rapid Eye tienen la cualidad de contar con las bandas en el espectro visible (rojo, verde y azul, una en el infrarrojo cercano y una banda «Red edge», la cual mide las variaciones en

la vegetación, permitiendo la separación de las especies y el monitoreo de la salud de la vegetación. , se han realizados trabajos de este tipo con resultados muy exitosos.

PROPIEDADES DEL SATÉLITE RAPID EYE

| Atributo | Descripción |
|--------------------------|---|
| Formato de imagen | Archivo GeoTIFF Metadato en formato XML |
| Orientación del producto | Orientado al Norte |
| Recorte del producto | Recortes fijos a nivel mundial, en un sistema de malla de 24x24 km, con una sobreposición de 500 m para producir un archivo de 25x25 km. El excedente se rellena con negros |
| Espaciamiento del pixel | 5 m |
| Tamaño del producto | 25 km (500 líneas) por 25 km (5000 renglones) 250 Mb por recorte con 5 bandas a 5 m de resolución espacial. |
| Correcciones geométricas | Ortorectificación usando GCP y MDE fino |
| Datum Horizontal | WGS84 |
| Proyección cartográfica | UTM (Universal Transversa de Mercator) |
| Método de remuestreo | Convolución cúbica (por defecto), MTF o Vecino más cercano |
| Bandas | 5 bandas: Azul (Blue) 440 – 510 m Verde (Green) 520 – 590 m Rojo (Red) 630 – 685 m |

| | | |
|-------------------------|---|----------------------------|
| | Rojo límite (Red Edge) Infrarrojo cercano (NR) | 690 – 730 m 760 – 850 m |
| Resolución radiométrica | 12 bits | |

Tabla N°1 Propiedades del satélite Rapid Eye. Fuente: SINAC

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta metodológica para el monitoreo del humedal Nacional Terraba Sierpe, utilizando técnicas de teledetección.

1.3.2 Objetivo específico

- 1) Valorar la delimitación mediante imágenes aéreas la cobertura del humedal Nacional Terraba Sierpe, implementando tecnologías con altos estándares de resolución.
- 2) Realizar la clasificación no supervisada y supervisada de las imágenes satelitales y aéreas, ampliando el concepto de uso de firma espectral.
- 3) Realizar la combinación de metodologías en la clasificación de imágenes satelitales y aéreas ajustables a las necesidades del proyecto. .
- 4) Elaborar una propuesta de monitoreo de los cambios del humedal con el fin de dar sostenibilidad al Proyecto Humedales-SINAC mediante imágenes Satelitales y de vehículos aéreos no tripulados.

Metodología

El uso y tenencia de la tierra en Costa Rica es materia diaria debido a las diferentes actividades que desarrolla el país. A nivel global existen múltiples programas de permanentes de monitoreo de bosques, tal como la evaluación de los recursos forestales de la FAO (MOCUPP) o bien otro ejemplo claro es el estudio de Hansen et al 2013, el cual mapeo 2.3 millones de kilómetros cuadrados globalmente, haciendo uso de imágenes de satélite para este caso se usó las de LANSAT.

Cada uno de estos estudios ponen a disposición la posibilidad de seguir realizando proyectos de tales índoles, por lo tanto la aplicación de dichas metodologías en humedales es de gran factibilidad por la gran cantidad de área que en estos se puede aplicar, así determinado los cambios en la cobertura y los usos de suelo que se le puedan dar a estos con el paso de los años, no solo para prever el cambio que estos sufren sino además al medio ambiente.

Como base importante para la cobertura del HNTS, se emplea un análisis multitemporal a partir del año 1948, las primeras imágenes existentes de la zona del proyecto, así determinar cuánto ha cambiado el humedal en cuanto a cobertura hasta la actualidad.

Una vez determinado dicho análisis se procede a la identificación del humedal obtenido por los insumos del proyecto SINAC, se establece la magnitud del área a clasificar, la asignación del vuelo programado mediante sistemas de información geográfica, tiempo de recorrido y la altura de vuelo, posicionamiento de aterrizaje comprendiendo las líneas de vuelo.

La imagen adquirida, junto con la frase GPS, quedan almacenados en un archivo RAW de formato propietario, en el cual el bitmap queda registrado en el formato Bayer nativo del sensor. Para manipular estas imágenes, se desarrollara un reader que decodifica el bitmap del archivo RAW, le aplica una función de deBayering por interpolación lineal, y la lectura de la metadata que incluye la frase del GPS.

El establecimiento de los puntos de control los cuales se procesarán en TopconTools esperando resultados milimétricos, y así controlar la fase de desplazamiento y control de la

precisión obtenida del equipo utilizado, la realización de estos se llevará a cabo mediante una red de medición GNSS, de la época actual 2018.00 contemplando para su procesamiento las correcciones de las efemérides precisas además de la realización del sistema coordinado contemplando características de un modelo geoidal global referido para las Américas.

La red de vínculo se llevará a cabo mediante un postproceso de simulación para determinar la debida configuración de la red geodésica, aplicando después en su procesamiento para un ajuste amarrado vértices de primer orden para Costa Rica.

Para el vuelo se llevaron a cabo una bitácora de vuelo:

| Fase | Producto |
|---|---|
| Planeación de la misión de campo | 1. Área de estudio 2. Estaciones de base 3. Campos de control 4. Propuestas de las líneas transversales de la ruta de vuelo. 5. Certificación licencia de piloto. 6. Póliza de seguros |
| Control de calidad del vuelo y del sitio de levantamiento | 1. Bitácora de vuelo Índice de vuelo de líneas trasversales finales 3. Archivo de las lianas de vuelo 4. Archivo con huecos de desfase 5. Tabla de parámetros de calibración del sensor |

| | |
|------------------------|---|
| Ajuste y procesamiento | <ol style="list-style-type: none"> 1. Archivo de parámetros de orientación 2. Archivos o imágenes ajustadas geoespacialmente. 3. Reporte de control de ajuste de imágenes. 4. Archivos ajustados y cortados 5. Ortomosaico construida a partir de las imágenes originales. 6. Metadato de los datos ajustados 7. Archivos a utilizar en un SIG |
|------------------------|---|

Para el procesamiento de las imágenes

Por lo tanto se emplea el uso de la teledetección para la identificación y monitoreo del HNTS. Para ellos se emplean una serie de procedimientos a seguir para poder plasmar una metodología ideal para aplicación a los humedales.

Los procedimientos de clasificación y uso de los insumos, se definen por etapas para así la densidad del trabajo a realizar tanto para las imágenes de satélite como las de los UVAS,

1. Procesos de georreferenciación de imágenes y procesamiento de puntos de control para las imágenes obtenidas de los vehículos aéreos no tripulados.
2. Se identificaron los tipos de software necesario para las distintas etapas de implementación del proyecto.
3. Se identificarán los procesos geoinformáticos especializados requeridos para generar, procesar, analizar, visualizar y distribuir la gran cantidad de información generada.
4. Análisis de variables de clasificación de humedales y la distribución de los sistemas de información geográfica.
5. Fases de resultados y la recopilación de la información de campo necesaria para la clasificación supervisada y no supervisada.

Etapa 1



Etapa 2



Etapa 3



Flujograma de procesos para establecer la identificación de Humedales, mediante el uso de imágenes áreas. Fuente Propia.

Elección del sensor a utilizar para el uso de monitoreo y identificación del humedal.

En la actualidad el mercado ofrece una variedad de imágenes obtenidas por medio de sensores instalados en satélites, que brindan amplias posibilidades para el procesamiento de imágenes en Costa Rica.

Las imágenes de satélite son generadas por corporaciones privadas o agencias gubernamentales que las disponen en el mercado, en general por un pago; no obstante, también se dispone de algunos casos en que las imágenes no tienen costo como lo son las de tipo LANDSAT o las que suministra el CeNat como las son las Rapid Eye.

Las imágenes de satélite, por la programación de órbitas tienen distintas coberturas (grandes extensiones), no responden necesariamente a una cobertura específica, por el contrario; es el usuario quien selecciona entre un catálogo de imágenes disponibles las que reúnen condiciones de aprovechamiento para los fines y área específica de un determinado proyecto (MPCUPP).

| Satélite | Sensor | Resolución espacial | No. De bandas | Resolución temporal | Precio |
|--------------------|---------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------|
| GEOEYE-1 | GEOEYE-1 | MS: 2m | 4 | 3 días | 25 \$/km ² |
| IKONOS | IKONOS | MS: 4m | 4 | 3 a 5 días | 20 \$/km ² |
| KOMPSAT-2 | KOMPSAT-2 | MS: 4m | 4 | 3 días | 15 \$/km ² |
| RAPIDEYE | RAPIDEYE | 6.5 m | 5 | 1 días | 1.08 \$/km ² |
| SPOT-5 | HRG | MS: 10m | 4 | 2,4 a 3,7 días | 0.85 \$/km ² |
| LANSAT-7 | ETM + | MS: 30m | 8 | 16 días | ----- |
| LANSAT-8 | OLI | MS: 30-15m | 11 | 16 días | ----- |
| QUICKBIRD | QUICKBIRD | MS: 2.44m | 4 | 2 a 4 días | 20 \$/km ² |
| TERRA | ASTER | 15 a 90 m | 14 | 16 días | 0.09 \$/km ² |
| WORLDVIEW-2 | WORLDVIEW-2 | MS: 2m | 8 | 1 a 3 días | 35 \$/km ² |

Tabla N^ox. Referencia de satélites y sensores disponibles en el mercado. Fuente MOCUPP

Por lo tanto para el proyecto se define el uso de las imágenes RapidEye, las cuales son combinadas con las (ad hoc) específicas del HNTS, obtenidas por medio del SINAC, las cuales son posibles por el uso de naves no tripuladas, estas pueden obtenerse en el mismo sensor para todo el espectro electromagnético o bien con uno diferente, ya que estas son más utilizadas para captar imágenes de luz visible por las bandas que estas permiten, las cuales son azul, verde y rojo.

Por lo tanto al disponer de las distintas fuentes de satélite y las imágenes del dron permite combinar con la aplicación de adecuadas técnicas fotogramétricas, la información y completarla de tal manera para obtener una cobertura óptima del HNTS.

Esta estrategia de combinación permite además lograr atenuar los efectos de visibilidad por ejemplo las nubes en muchos sectores o bien al contrario lugares de difícil acceso se podrán llegar por medio del sensor del satélite, por lo tanto se podrá controlar las afectaciones del sensor y otros efectos en la calidad de captura de los datos.

Procesamiento de imágenes satelitales y de vehículos aéreos no tripulados.

En ambas imágenes se comienza con la calibración radiométrica de estas, lo cual consiste en la evaluación de los valores radiométricos que son independientes de la geometría además de la retrodispersión del terreno.

Es requerida debido a fallas en los sensores que producen datos erróneos en las imágenes (píxeles), e implica por una parte la restauración de líneas o píxeles perdidos, y por otra la corrección del bandeo de la imagen. La corrección radiométrica trata de mejorar problemas mecánicos en el sensor que generan valores erróneos en píxeles concretos. En general los proveedores de imágenes entregan un producto y las estaciones receptoras llevan a cabo algún tipo de corrección en el momento de recepción de la imagen (Sasa, 2014).

Los efectos a considerarse son la pérdida de rango dinámico, la compensación de la antena, además de los efectos de ángulo de incidencia, estos aplicables a ambas imágenes.

Después Corrección atmosférica con ella se trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie

terrestre. Por tanto se basa en modelos físicos más complejos, para transformar los Niveles Digitales (ND) almacenados por el sensor en valores de radiancia. El objetivo de la corrección atmosférica es recuperar la radiancia intrínseca del objetivo obtenida de la señal recibida por el sensor (radiación total del sensor). Para eliminar los efectos de la atmósfera completamente, la corrección atmosférica absoluta es necesaria. (Campos et al, 2012), seguido la corrección geométrica Una imagen no proporciona información georreferenciada; cada pixel se ubica en un sistema de coordenadas. El proceso de georreferenciación consiste en dar a cada pixel su localización en un sistema de coordenadas cartográfico (UTM, CRTM) para poder, de este modo, combinar la imagen con otro tipo de capas en un entorno SIG. Para realizar la georreferenciación se requiere de la utilización de puntos de control para enlazar la imagen con el sistema de coordenadas. Con los datos de los puntos de control se aplican herramientas de software para generar una nueva imagen en la que los pixeles están asociados a las coordenadas, para este estudio se contaron con imágenes que ya poseían ésta corrección (Sasa, 2014).

Para las fotos suministradas por el SINAC se establece la magnitud del área a clasificar, la asignación del vuelo programado mediante sistemas de información geográfica, tiempo de recorrido y la altura de vuelo, posicionamiento de aterrizaje comprendiendo las líneas de vuelo.

La imagen adquirida, junto con la frase GPS, quedan almacenados en un archivo RAW de formato propietario, en el cual el bitmap queda registrado en el formato Bayer nativo del sensor. Para manipular estas imágenes, se desarrollara un reader que decodifica el bitmap del archivo RAW, le aplica una función de deBayering por interpolación lineal, y la lectura de la metadata que incluye la frase del GPS.

El establecimiento de los puntos de control los cuales se procesarán en TopconTools esperando resultados milimétricos, y así controlar la fase de desplazamiento y control de la precisión obtenida del equipo utilizado, la realización de estos de llevará a cabo mediante una red de medición GNSS, de la época actual 2017.85, contemplando para su procesamiento las correcciones de las efemérides precisas además de la realización del sistema coordinado contemplando características de un modelo geoidal global referido para las Américas.

La red de vínculo se llevará a cabo mediante un postproceso de simulación para determinar la debida configuración de la red geodésica, aplicando después en su procesamiento para un ajuste amarrado vértices de primer orden para Costa Rica.

Clasificación de las imágenes

A partir de la imagen corregida, se emplea el uso de conceptos de teledetección para definir el uso de cobertura y uso de tierra, este proceso se denomina clasificación y con él se logra la extracción de información, pasando del análisis visual de la imagen a la identificación de los objetos. Esto implica el análisis multispectral aplicando distintas técnicas o bien la adecuada identificación de objetos es la que permite luego comparar entre épocas el comportamiento o dinámica de una cobertura específica.

Se detallan dos metodologías de clasificación para el humedal:

Clasificación automatizada (no supervisada)

Consiste en aplicar un algoritmo en software, mediante el cual se identifican píxeles cuya varianza es mínima (según parámetros del algoritmo), este agrupamiento (conocido como clustering) permite identificar clases ya que puede generarse un mapa de los píxeles agrupados por clase. Esta clasificación no relaciona las clases con objetos o tipos de cobertura, esto se logra comparando cada clase con información de campo.

Clasificación avanzada (supervisada)

Además de aplicar un algoritmo para identificar datos (píxeles) y relacionarlos con objetos o cobertura; este método requiere del conocimiento de áreas de comprobación en el campo (áreas de entrenamiento) para relacionar las clases con objetos o coberturas (Sasa, 2014).

Variables del procesamiento

Una vez procesadas las imágenes satelitales y las obtenidas por el dron y realizada la debida clasificación supervisada, para este análisis se requiere de la clasificación supervisada de cada año, para llevar a cabo un álgebra de metadatos. Se trabaja con el programa ENVI versión 5 para efectuar la clasificación no supervisada con K-Means, este tipo de clasificación se basa en medidas aritméticas aplicada a las bandas de la imagen, en el cual el programa utiliza la técnica de mínima distancia entre espectros mediante la

búsqueda de los píxeles con la misma entonación de colores que estén más cercanos, así establece las clases (CeNAT, 2009).

Una vez obtenido el proceso de clasificación por medio del programa ENVI se revisarán las clases con el programa ArcMap, ya que, en algunos casos, las muestras quedan contaminadas con píxeles de otros colores alterando el espectro, por lo que se debe manejar bajo un proceso de depuración, esto consiste en eliminar los píxeles que sean de tamaños pequeños.

Habiendo procesado las imágenes con los filtros adaptivos y de texturas y, posteriormente, hecha la conversión a decibeles de todo el conjunto de vectores $x(i, j)$, se hará la identificación y clasificación de las clases, para validar la información adquirida en la clasificación debe realizarse una inspección en el campo y lograr una comprobación validada, esto va a ser utilizando cartografía que se genera en el proceso y con el apoyo de un navegador GPS para obtener puntos que ayuden a verificar en el SIG.

Además de llevará a cabo otra comprobación que consiste en conocer la efectividad de las clases a partir de puntos la cual se obtiene con la fórmula que propone (Chuvieco, 2010):

$$n = z^2 pq L (4)$$

Donde

z es la abscisa de curva normal

p es el porcentaje estimado de acierto

q es el porcentaje de errores

L es el nivel permitido de error.

Con las áreas de interés delimitadas, se tomaron los datos sobre los vectores $x(i, j)$ calculados anteriormente (RANGO, MEDIA y VARIANZA). La condición que deben cumplir las muestras seleccionadas para luego ser utilizadas en un clasificador de máxima probabilidad, es la de poseer un comportamiento de valores homogéneos con una distribución normal, aunque algunos autores han mostrado resultados satisfactorios

utilizando bandas de entrada que no cumplen este criterio (Swain y Davis, 1978 en Chuvieco (2008).

El proyecto Humedales del SINAC finalizará en el 2019, la información será de carácter oficial a nivel nacional, modificando a la que actualmente rige de uso oficial, elaborada en 1998 en el Inventario Nacional de Humedales. (Jiménez, 2017)

Actualmente no se cuenta con una un mecanismo de mantenimiento de la información recopilado durante la ejecución del proyecto, (Jiménez, 2017) por lo tanto se propone una metodología de mantenimiento para establecer el monitoreo del Patrimonio Nacional del Estado.

El mecanismo de sostenibilidad para la nueva información oficial del país, se ejecutará a partir de la utilización de imágenes satelitales, ya que este fortalece la capacidad del sector público de ordenar el territorio al identificar cada año, de manera digital y a bajo costo, la cobertura total de materias primas que pueden ser tele-detectadas usando sensores remotos.

Permite al SINAC bajar costos de monitoreo y tiempo, donde los funcionarios planean giras de verificación a sitios específicos, por coordenadas llegan directamente al lugar donde se detecte algún cambio en la vegetación, reduciendo así el costo de la inversión pública en control, además de que es posible controlar las grandes extensiones en menor tiempo, evitando realizar campañas de vuelos por todo el país, únicamente a las zonas donde se detectan cambios, además tienen la gracias de accesibilidad a cualquier zona del país.

Esta metodología de monitoreo y supervisión traerá para el país grandes beneficios, fortaleciendo la capacidad del MINAE en garantizar la protección del Patrimonio Nacional de Estado, haciendo cumplir la ley de manera digital, rápida y de bajos costos.

Bibliografía

- BIOMARCC-SINAC-GIZ. (2012). Evaluación de Carbono a Nivel de Ecosistemas en el Área silvestre Progida Humedal Terraba-Sierpe. San Jose, Costa Rica. : BIOMARCC-SINAC-GIZ. Obtenido de Áreas Protegidas y Parques Nacionales de Costa Rica: <https://areasyparques.com>
- Córdoba Muñoz, R. A. (1998). Inventario de los humedales de Costa Rica. Costa Rica : San Jose : UICN ORMA, 1998.
- DeGroot,R.S., Stuij, M.A.M., Finlayson, C.M. & Davidson, N. (2007). Valoración de humedales: Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales, Informe Técnico de Ramsar núm. 3/núm. 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza), y Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal (Canadá). ISBN 2-940073-31-7.
- N.I. (2017). Política Nacional de Humedales. SINAC, Proyecto Humedales, minae, Gef.
- José Iannacone, M. A. (2007). Diversidad de aves en el humedal Pantanos de Villa,Lima, Perú: periodo 2004-2007. Peru : Universidad Nacional Federico Villarreal.
- IANNACONE, J., ATASI, M., BOCANEGRA, T., CAMACHO, M., MONTES, A., SANTOS, S., ZUÑIGA, H. & ALAYO, M. Diversity of birds in Pantanos de Villa wetland, Lima, Peru: period 2004-2007. Biota Neotrop. 10(2): <http://www.biotaneotropica.org.br/v10n2/en/abstract?inventory+bn02610022010>.
- Mario Peña Chacón, M. (2017). TUTELA JURIDICA DE LOS ECOSISTEMAS DE HUMEDAL. Obtenido de TUTELA JURIDICA DE LOS ECOSISTEMAS DE HUMEDAL: http://huespedes.cica.es/gimadus/16/10_humedal.html
- Reyes, V. et al. (2004). Valoración socio-económica del Humedal Terraba-Sierpe HNTS. Proyecto de la Unión Mundial para la Naturaleza. Costa Rica: Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Rudolf de Groot, Mishka Stuij, Max Finlayson, Nick. (2007). Valoración de humedales, Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales. Suiza : Secretaría de la Convención sobre los Humedales.
- Sasa, K. (2014). MONITOREO DE CAMBIO DE USO EN PAISAJES PRODUCTIVOS . San Jose, Costa Rica.
- Subgerencia Cultural del Banco de la República. (2015). Biota. Recuperado de: <http://www.banrepultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/ciencias/biota>

Mario Peña Chacón, M. (2017). *TUTELA JURIDICA DE LOS ECOSISTEMAS DE HUMEDAL*. Obtenido de TUTELA JURIDICA DE LOS ECOSISTEMAS DE HUMEDAL. Recuperado de: http://huespedes.cica.es/gimadus/16/10_humedal.html

Subgerencia Cultural del Banco de la República. (2015). *Biota*. Recuperado de: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/ciencias/biota>

Miranda, M. (2013). Ordenamiento territorial y conflictividad en zonas protegidas. DECIMONOVENO INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE.

Acuña, F (2106). Análisis Espacio Temporal de la Evolución Geomorfológica, los cambios en los Usos y Coberturas de la tierra así como la Distribución del Mangle en el Humedal Nacional Terraba Sierpe en el periodo de 1948-2012

Herrera, G. (2017). TRIBUNAL AMBIEL INVESTIGA LA DESTRUCCION DEL MANGLAR DE PUNTARENAS. UNIVERSIDAD DE COSTA RICA.

Chuvieco, E. (2010) Fundamentos de Teledetección Espacial.

Entrevista al Ingeniero Rafael Jiménez Arce. Topógrafo del Proyecto Humedales – SINAC.