

# **INFORME FINAL**

Proyecto:

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN EN DOS REGIONES DE ECOSISTEMAS FRÁGILES DE CUBA**

**PNCT**

**Cambio Climático en Cuba: Impactos, Mitigación y Adaptación**

**Código:** P211LH001-001

**Año 2017**

## Contenido

IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO:.....	4
COLECTIVO DE AUTORES:.....	4
CORRESPONDENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS EN EL PROYECTO Y LOS RESULTADOS ALCANZADOS: .....	5
Objetivos del proyecto .....	6
Resultados planificados.....	7
EJECUCIÓN Y ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO DE GASTOS ASIGNADO .....	9
Resultados obtenidos .....	12
RESULTADO I. Establecimiento de una red de monitoreo de variables ambientales para el cambio climático en áreas marino costeras ecológicamente sensibles del sur de Cuba.....	12
I.1- Identificación de indicadores a incluir en la red de monitoreo de los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad marino costera, en dos áreas ecológicamente sensibles del sur de Cuba .....	13
I.2- Creación de los protocolos para el monitoreo de los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad marino costera .....	14
I.3- Creación de la cartografía temática sobre el paisaje actual a partir de imágenes de satélite.....	20
I.4- Caracterización de la línea base para el monitoreo de la biodiversidad marina, el clima, el paisaje y la dinámica e hidrología de las aguas respecto al cambio climático.....	26
RESULTADO II. Establecimiento del SIG de cartografía histórica .....	73
II.1- DISEÑO DEL SIG DE LA CARTOGRAFÍA HISTÓRICA .....	73
II.2- Recopilación, escaneo y georeferenciación De CARTOGRAFÍA HISTÓRICA .....	74
III. Levantamiento Topográfico detallado en áreas de interés por el cambio climático .....	80
III.1- Establecimiento de la base geodésica altimétrica.....	80
III.2- Levantamiento con VANTs de sectores de interés y creación de modelo digital del terreno en ciénaga de zapata.....	96
IV- Vulnerabilidad de la biodiversidad marino-costera de dos geosistemas del sur de Cuba al cambio climático .....	100
Cambios en los paisajes y en la cobertura de la superficie terrestre, con énfasis en la vegetación natural y seminatural .....	100

V- Diseño y desarrollo de la herramienta web .....	116
RESULTADO 8- Diseño de una plataforma (tanto online como offline) que permita el acceso y el intercambio de información relevante sobre cambio climático y biodiversidad. ....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	126

## **IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO:**

**PROYECTO:** Evaluación de los impactos potenciales del Cambio Climático sobre la biodiversidad y desarrollo de estrategias de adaptación en dos regiones de ecosistemas frágiles de Cuba

**J' PROYECTO POR EL IGT:** Dr. Gustavo Martín Morales

**CÓDIGO:** P211LH001-001

**INSTITUCIÓN CABECERA:** Instituto de Oceanología (IDO)

**ENTIDAD EJECUTORA:** Instituto de Geografía Tropical (IGT)

### **INSTITUCIONES CIENTÍFICAS VINCULADAS AL PROYECTO:**

Instituto de Oceanología (IDO)  
Instituto de Meteorología (INSMET)  
Fundación la Naturaleza y el Hombre Antonio Núñez Jiménez (FANJ)  
Empresa para protección de la Flora y la Fauna (ENFF).

**PERÍODO DE EJECUCIÓN:** Fecha de Inicio: enero 2014

Fecha Terminación: noviembre 2017

## **COLECTIVO DE AUTORES:**

Gustavo Martín Morales (Doctor en ciencias técnicas, investigador Auxiliar, 60 %)

Reinaldo Estrada Estrada (Licenciado en Geografía, 40 %)\*

Odalys Bouza Alonso (Licenciada en Geografía, 40 %)

Alejandro Oliveros Pestana (Master en Ciencias Geográficas, 40 %)

Idalmis Almeida Martínez (Master en Ciencias Geográficas, 30 %)

Jorge Olivera Acosta (Master en Ciencias Técnicas, 30 %)

Miguel Ribot Guzmán (Técnico Medio, 40 %)

\*Fundación Naturaleza y Hombre "Antonio Núñez Jiménez"

## CORRESPONDENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS EN EL PROYECTO Y LOS RESULTADOS ALCANZADOS:

Los resultados alcanzados se corresponden con el establecimiento de una red de monitoreo de las variables ambientales para evaluar los principales cambios ocurridos en el paisaje terrestre, de dos parques nacionales de gran importancia para la conservación y protección de nuestra biodiversidad “Ciénaga de Zapata” y “Jardines de la Reina”, así como determinar su estado actual.

A nivel de paisajes y ecosistemas fueron identificados e incluidos en el sistema de monitoreo como principales indicadores los siguientes:

- Estado de la cobertura vegetal (entendido como el grado de verdor de la vegetación, como reflejo indirecto del contenido de clorofila).
- Fluctuación del tamaño de los cuerpos de agua en la ciénaga de zapata.
- Tendencia en los cambios de la línea de costa (erosión y retroceso vs. acumulación y avance).
- Tasas de cambio de las coberturas del manglar, herbazal y bosques.
- Variación (o anomalías) en la temperatura de la superficie terrestre.

Todos estos indicadores se calcularon sobre la base de la medición de un conjunto de variables:

- Temperatura promedio mensual de la superficie terrestre para verano e invierno por año (o para los meses más fríos y más calientes de cada año). Se establecerá como línea base el promedio de temperatura superficial terrestre en un período de al menos 10 años antes).
- Superficie total de cuerpos de agua interiores en período seco y lluvioso, en la ciénaga de zapata.
- Superficie y longitud de los tipos de tramos costeros. En base a los cambios ocurridos y a la dinámica costera, se dividirá la línea de costa en tramos (con tendencia al retroceso y la erosión o con tendencia al avance y la acumulación), para los cuales se calculará área y la longitud del tramo costero.
- NDVI para cada formación vegetal (como línea base tomar el NDVI promedio de los últimos 10 años).
- Superficies de las distintos tipos de coberturas o hábitats, y diferencias entre las superficies medidas (cambios) en años consecutivos y respecto a la línea base para cada una de las coberturas.

La obtención de estas variables se realizó a partir del procesamiento de imágenes y productos satelitales que hoy están disponibles gratis (Landsat, Modis, NOAA).

El primer paso consistió en establecer los protocolos de monitoreo con las metodologías de procesamiento de la información para garantizar la continuidad a largo plazo de las mediciones a realizar y posteriormente determinar la línea base de cada indicador; más adelante se estableció una herramienta web para garantizar la publicación y disseminación sistemática de los resultados del monitoreo y de las recomendaciones de manejo que emanan de los mismos.

Adicionalmente, se contó información de estaciones fijas en el terreno (dos estaciones meteorológicas) donde se midió un conjunto de parámetros que permitieron obtener

mediciones precisas en los dos parques nacionales, que a su vez, complementaron y permitieron calibrar las mediciones realizadas mediante otros medios (sensores remotos, mediciones en estaciones de monitoreo biológico, etc.).

Se creó la cartografía temática sobre de la línea base para el monitoreo del paisaje actual (*respuesta espectral de la vegetación, cambios en el paisaje, la línea de costa, fluctuación de los cuerpos de agua y la temperatura de la superficie terrestre*) a partir de imágenes de satélite.

Se estableció el SIG de cartografía histórica que comprendió el diseño del SIG y la recopilación, escaneo y georeferenciación, de un gran número de mapas e imágenes aéreas y de satélite.

El levantamiento topográfico detallado en áreas de interés por el cambio climático, comprendió la recopilación de datos topográficos y otros materiales existentes, la capacitación en el tema de GPS diferencial y generación de modelos digitales, el traslado de puntos geodésicos con GPS para la creación de la base de puntos fotoidentificables, el levantamiento fotográfico con Vehículos Aéreos No Tripulado (VANT) y procesamiento digital la creación de modelos digitales del terreno en sectores claves de nidificación del cocodrilo cubano, el levantamiento altimétrico en campo con GPS.

La tarea de la determinación de la vulnerabilidad al cambio climático de la biodiversidad marino-costera de dos ecosistemas del sur de Cuba, comprendió la determinación de los de los cambios ocurridos en el paisaje en los parques nacionales Ciénaga de zapata y en Jardines de la Reina, y la modelación de pasados y futuros escenarios de temperatura de la superficie terrestre de alta resolución utilizando modelos climáticos regionales.

El diseño y desarrollo de la herramienta web para el establecimiento de una red de monitoreo de variables ambientales para el cambio climático en áreas marino costeras ecológicamente sensibles del sur de Cuba, comprendió las actividades de: La capacitación en el tema de diseño y desarrollo de la herramienta web, el establecimiento de políticas y catalogación de datos con Geonetwork, el diseño, definición y montaje servicio de mapas en formato WEB, el diseño y creación del catálogo de atributos, la instalación y puesta a punto de la herramienta WEB, la programación y desarrollo de la base de datos meteorológica con los resultados de las proyecciones, la capacitación del personal técnico para la operación del sistema implementado y el desarrollo del manual de usuario (Ver anexo 1) y versión offline de la herramienta.

## **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

El objetivo general planteado en el proyecto consistió en determinar la vulnerabilidad de la biodiversidad al cambio climático en áreas marino-costeras ecológicamente sensibles.

Como objetivos específicos se propuso:

1. Evaluar los posibles impactos del cambio climático sobre la biodiversidad.
2. Diseñar e implementar un sistema de datos e imágenes con la cartografía histórica de los parques nacionales Jardines de la Reina y Ciénaga de Zapata, con vistas a determinar los cambios y tendencias de la evolución de los ecosistemas por efecto del incremento del nivel medio del mar.

3. Caracterizar la línea base para el monitoreo de la biodiversidad marina, el clima, el paisaje y la dinámica e hidrología de las aguas respecto al cambio climático.
4. Determinar las proyecciones climáticas futuras de alta resolución utilizando modelos climáticos regionales.

Como tareas a realizar para el cumplimiento de los objetivos se propuso:

1. Caracterización de la línea base para el monitoreo de la biodiversidad marina, el clima, el paisaje y la dinámica e hidrología de las aguas respecto al cambio climático.
2. Creación de la cartografía temática sobre el paisaje actual a partir de imágenes de satélite.
3. Establecimiento de una red de monitoreo de variables ambientales para el cambio climático.
4. Establecimiento del SIG de cartografía histórica.
5. Levantamiento Topográfico detallado en áreas de interés por el cambio climático.
6. Determinación de los cambios ocurridos en el paisaje
7. Diseño y desarrollo de la herramienta web.

## **RESULTADOS PLANIFICADOS**

**RESULTADO I-** Establecimiento de una red de monitoreo de variables ambientales para el cambio climático en áreas marino costeras ecológicamente sensibles del sur de Cuba.

- Se definieron los Indicadores a incluir en la red de monitoreo de variables ambientales para la adaptación al cambio climático, en dos áreas marino costeras ecológicamente sensibles del sur de Cuba.
- Se confeccionaron los protocolos para el monitoreo de los indicadores ambientales identificados.
- Se cartografió el paisaje terrestre en las dos áreas marino costeras ecológicamente sensibles del sur de Cuba.
- Se caracterizó la línea base para el monitoreo de los indicadores ambientales identificados para el monitoreo del paisaje actual (año 2014).

Este resultado planificado se brinda en el acápite: **ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ÁREAS MARINO COSTERAS ECOLÓGICAMENTE SENSIBLES DEL SUR DE CUBA.**

**RESULTADO 2-** Establecimiento del SIG de cartografía histórica.

- Informe de los materiales fotocartográficos antiguos y actuales, identificados, escaneados y georeferenciados en formato SIG. Se brinda en el acápite: **ESTABLECIMIENTO DEL SIG DE CARTOGRAFÍA HISTÓRICA.**

**RESULTADO 3-** El levantamiento topográfico detallado del terreno, en áreas de interés para el cambio climático.

- El levantamiento topográfico detallado del terreno. Se brinda en el acápite: **ESTABLECIMIENTO DE LA BASE GEODÉSICA ALTIMÉTRICA y LEVANTAMIENTO CON VANTS DE SECTORES DE INTERÉS Y CREACION DE MODELO DIGITAL DEL TERRENO EN CIÉNAGA DE ZAPATA.**

**RESULTADO 4-** Determinación de los cambios ocurridos en el paisaje.

- Los cambios en el paisaje (cobertura de la superficie terrestre, con énfasis en la vegetación natural y seminatural). Se brinda en el acápite: **VULNERABILIDAD DE LA BIODIVERSIDAD MARINO-COSTERA DE DOS GEOSISTEMAS DEL SUR DE CUBA AL CAMBIO CLIMÁTICO.**

**RESULTADO 5-** Diseño y desarrollo de la herramienta web.

- Como resultado se logró el diseño del sitio y su manual de usuario; su desarrollo se realizó a partir de la virtualización del sitio WEB y aunque no se planificó como resultado su implementación, se encuentra pendiente su colocación en el servidor de SIGGeo del IGT. El diseño y desarrollo de la plataforma Web, se brinda en el acápite: **DISEÑO DE UNA PLATAFORMA (TANTO ONLINE COMO OFFLINE) QUE PERMITA EL ACCESO Y EL INTERCAMBIO DE INFORMACION RELEVANTE SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD.**

## EJECUCIÓN Y ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO DE GASTOS ASIGNADO

El presupuesto de gastos asignado durante los cuatro años del proyecto fue de 60,5 mil pesos. Cumpliéndose con la planificación prevista en el cronograma de actividades y el 100 % de ejecución.

Moneda MN	Plan según Contrato (MP)	Plan real ejecutado (MP)	Diferencia
1 <sup>er</sup> Año (2014)	60.5	60.5	0
2 <sup>do</sup> Año (2015)	60.5	60.5	0
3 <sup>er</sup> Año (2016)	60.5	60.5	0
4 <sup>to</sup> Año (2017)	60.5	60.5	0
Total	242.0	242.0	0

En el caso de la MLC se contó con un monto de 19 000 USD, como apoyo del proyecto internacional CCambio financiado por WWF Holanda y coordinado por FANJ y WWF, para la compra de equipamiento y materiales de oficina, expediciones de campo y entrenamiento en el extranjero.

### Valoración cualitativa:

El aporte alcanzado se vincula al resultado con la defensa de la tesis de maestría en el año 2015 del MsC. Alejandro Oliveros Pestana, titulada "Comportamiento temporal de la cobertura vegetal en el área protegida de recursos manejados Península de Zapata".

Y las publicaciones siguientes:

Almeida, I., Martín, G., Olivera, J., y Estrada, R. (2016). Procedimiento para la detección de cambios de los cuerpos de agua a partir de imágenes LANDSAT-8 OLI, en el Parque Nacional Ciénaga de Zapata. Paper presented at the IX Congreso Internacional Geomática 2016, La Habana.

Estrada, R., y Martín, G. (2016). Relaciones / Resolución / Escala en imágenes satelitales y mapas. Paper presented at the IX Congreso Internacional Geomática 2016, La Habana.

Martín, G., Estrada, R., Almeida, I., Bouza, O., Olivera, J., y Oliveros, A. (2016). Obtención de la temperatura de la superficie terrestre a partir de datos LANDSAT en el APRM Península de Zapata. Paper presented at the IX Congreso Internacional Geomática 2016, La Habana.

Oliveros, A., Martín, G., y de León, J. E. (2016). Comportamiento temporal de la cobertura vegetal en el área protegida de recursos manejados Península de Zapata. Paper presented at the IX Congreso Internacional Geomática 2016, La Habana.

Martín, G., Estrada, R., Bouza, O., y Oliveros, A. (2015). Evaluación de los impactos potenciales del Cambio Climático sobre la biodiversidad y desarrollo de estrategias de adaptación en dos regiones de ecosistemas frágiles de Cuba. Paper presented at the X Simposio Internacional Humedales 2015, Matanzas, Cuba.

Martín, G., Oliveros, A., Estrada, R., Olivera, J., Almeida, I., y Bouza, O. (2015). Comportamiento temporal de la cobertura vegetal en el APRM Península de Zapata empleando imágenes de MODIS. Paper presented at the X Simposio Internacional Humedales 2015, Matanzas, Cuba.

## **Impacto previsto y alcanzado: Ambiental, Económico y Social**

### **Impacto Ambiental**

Desde el punto de vista ambiental el impacto se concretó en la evaluación y monitoreo de los cambios en el paisaje de los PN Ciénaga de Zapata y Jardines de la Reina, a partir de la elaboración de un conjunto de mapas temáticos que abordan el estado de la degradación de su biodiversidad ante el cambio climático. Esta información sirve de instrumento para confeccionar estrategias de adaptación conservación.

### **Impacto Económico**

La determinación de los cambios en la línea de costa, es un elemento de primerísima importancia en los estudios que hoy se realizan para determinar el grado de influencia del cambio climático antropogénico en los procesos actuales, al detallar un elemento más en este complejo análisis, la evolución o tendencia de los cambios de la línea de costa en tiempos en los cuales no existía afectación por el Cambio Climático antropogénico, lo que permite realizar comparaciones, analizar cambios en las tendencias y dilucidar sus posibles causas, lo que le confieren impactos económicos potenciales, referidos al ahorro de recursos materiales y humanos que tendrían que emplearse de no tomar medidas preventivas para evitar la degradación de las especies indicadoras en estos dos frágiles ecosistemas. Además, estos resultados constituyen puntos focales del ordenamiento territorial y de planificación para el desarrollo local en función de la producción de alimento y el aprovechamiento eficiente de varios recursos naturales como el suelo, agua y biodiversidad.

### **Impacto Científico**

La culminación de este proyecto con el conjunto de sus resultados, brinda un nuevo conocimiento científico sobre la determinación de la evolución de estas dos zonas frágiles de Cuba y la precisión de su estado actual, en especial la determinación de aquellas por "más tiempo y mejor conservadas", lo que sirve de base para estrategias de manejo y conservación que van desde la propuesta de nuevas áreas protegidas, la aplicación de conceptos modernos de conservación como los corredores y las zonas buffers, la zonificación de las áreas protegidas hasta el desarrollo de programas de conservación de ecosistemas y de especies endémicas y/o amenazadas. El proyecto aborda por primera vez en Cuba la temática de analizar en detalle la evolución histórica "reciente" de los paisajes y ecosistemas más importantes para la conservación y profundiza trabajos anteriores de gran escala o sobre zonas concretas, el tema del estado de conservación de los mismos, integrando el enfoque histórico con el geográfico en un solo resultado.

Como otra novedad se tiene que logró recopilar, ordenar y reclasificar una cantidad de información que se soporta en forma de base digital para la escala 1: 250 000, con el empleo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica.

**Opinión del cliente:** Se anexa al documento.

**Vínculo con instituciones extranjeras o internacionales logrado:**

El vínculo del proyecto con la FANJ y WWF Holanda, permitió contar con apoyo financiero para la adquisición de materiales y equipamiento, así como verificación de los resultados en campo.

**Otros documentos que demuestren el logro de los objetivos planificados (dictámenes, certificados, publicaciones y otros)**

Se anexa los certificados de participación en eventos

---

## RESULTADOS OBTENIDOS

---

### RESULTADO I. ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ÁREAS MARINO COSTERAS ECOLÓGICAMENTE SENSIBLES DEL SUR DE CUBA

Para establecer una red de monitoreo de los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad marino costera en dos áreas ecológicamente del sur de Cuba, en el marco del proyecto C.Cambio, se logró comprar e instalar por primera vez en nuestro país, dos boyas oceanográficas (Ver figura 1) que registran datos de corrientes marinas, temperatura de la columna de agua, entre otras variables de interés para caracterizar la columna de agua marina.



Figura 1- Equipos de medición anclados a la boya marina ubicada en el PN Ciénaga de Zapata.

De igual manera se adquirieron e instalaron dos estaciones portátiles de meteorología de marca JOBO (Ver figuras 2a y 2b), las que registran datos de temperatura de la superficie del aire, precipitación, humedad relativa, así como dirección y velocidad del viento. Estos datos son recogidos una vez al mes en las estaciones de medición y se hacen llegar a las diferentes instituciones que componen la red (Instituto de Meteorología, Instituto de Oceanología, Instituto de Geografía Tropical, Fundación de la Naturaleza y el Hombre “Antonio Núñez Jiménez” y la Empresa Nacional para protección de la Flora y la Fauna), la información es colocada en la herramienta WEB de CCambio-SI.



Figura 2a- Estación meteorología ubicada en la estación del CIEC en PN-JR.



Figura 2b- Estación meteorología ubicada en la estación ecológica de San Lázaro en PN-CZ.

Entre los resultados comprometidos por nuestro Instituto de Geografía Tropical en el marco del presente proyecto se encuentran la definición de los indicadores para el monitoreo de los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad marino costera en dos áreas marino costeras ecológicamente sensibles del sur de Cuba, la elaboración de los protocolos de monitoreo, la creación de la cartografía temática sobre el paisaje actual a partir de imágenes de satélite y la caracterización de la línea base para el monitoreo de la de los indicadores ambientales identificados en el primer taller de monitoreo del proyecto C.Cambio.

A continuación se presentan las pruebas documentales de su cumplimiento.

#### **I.1- IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES A INCLUIR EN LA RED DE MONITOREO DE LOS IMPACTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA BIODIVERSIDAD MARINO COSTERA, EN DOS ÁREAS ECOLÓGICAMENTE SENSIBLES DEL SUR DE CUBA**

A fin de establecer una red de monitoreo que incluya un grupo de variables ambientales de interés para la conservación de la biodiversidad y su adaptación al cambio climático, fueron identificados mediante trabajo grupal y el método Delphi (2014:17-18), un total de cinco indicadores para el monitoreo de la biodiversidad en dos áreas ecológicamente sensibles del sur de Cuba; para evaluar en el tiempo a partir de fuentes actuales e históricas disponibles, los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad marino costera ([Ver anexo 1](#)).

El objetivo de esta evaluación es servir de soporte, al desarrollo de estrategias de adaptación de la biodiversidad ante el cambio climático; teniendo en cuenta los principales cambios ocurridos en el paisaje terrestre de dos áreas marino costeras del sur de Cuba (PN “Ciénaga de Zapata” y PN “Jardines de la Reina”). Los mismos están relacionadas con los cambios de la temperatura de la superficie terrestre, la subida del nivel del mar, cambios en la cobertura vegetal y en el paisaje.

Los indicadores identificados como principales para ser incluidos en la red de monitoreo de variables ambientales son los siguientes:

1. Variación (o anomalías) en la temperatura de la superficie terrestre.
2. Fluctuación del tamaño de los cuerpos de agua en la ciénaga de zapata.
3. Tendencia en los cambios de la línea de costa (erosión y retroceso vs. acumulación y avance).
4. Estado de la cobertura vegetal (entendido como el grado de verdor de la vegetación, como reflejo indirecto del contenido de clorofila).
5. Tasas de cambio de las coberturas del manglar, herbazal y bosques.

Todos estos indicadores se calcularon sobre la base de la medición de un conjunto de variables:

- Temperatura promedio mensual de la superficie terrestre para verano e invierno por año (o para los meses más fríos y más calientes de cada año). Estableciéndose como línea base el promedio de temperatura superficial terrestre en un período de al menos 10 años antes).
- Superficie total de cuerpos de agua interiores en período seco y lluvioso (Solo para PN Ciénaga de Zapata).
- Superficie y longitud de los tipos de tramos costeros. En base a los cambios ocurridos y a la dinámica costera, se dividirá la línea de costa en tramos (con tendencia al retroceso y la erosión o con tendencia al avance y la acumulación), para los cuales se calculará área y la longitud del tramo costero.
- NDVI para cada formación vegetal (como línea base tomar el NDVI promedio de los últimos 10 años).
- Superficies de las distintos tipos de coberturas o hábitats, y diferencias entre las superficies medidas (cambios) en años consecutivos y respecto a la línea base para cada una de las coberturas.

## **I.2- CREACIÓN DE LOS PROTOCOLOS PARA EL MONITOREO DE LOS IMPACTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA BIODIVERSIDAD MARINO COSTERA**

Se confeccionaron cinco protocolos para monitorear los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad de dos áreas marino costeras del sur de Cuba, que además pueden ser utilizados para su aplicación en otras áreas de nuestro territorio nacional.

El primer protocolo se confeccionó para tener un registro de la variación de la temperatura diurna y nocturna de la superficie terrestre, a partir de datos satelitales y tiene como

principal objetivo, servir de guía metodológica para crear la línea base del monitoreo de la variación de temperatura de la superficie terrestre (TST) en puntos con diferentes tipos coberturas y que son de interés para su monitoreo en las áreas protegidas “Parque Nacional Ciénaga de Zapata” y “Parque Nacional Jardines de la Reina”; a partir del empleo de imágenes térmicas de la serie Landsat-TIRs y de MODIS ([Ver anexo 2](#)).

Como se conoce normalmente los valores de TST, se obtienen mediante los registros horarios de esta variable en estaciones meteorológicas instaladas en sitios específicos, los que luego de ser sometidos a un riguroso proceso de corrección son extrapolados a otras zonas geográficas. Sin embargo, las temperaturas varían dependiendo de diferentes factores locales como es el tipo de cobertura, la topografía y la latitud, por lo que es de esperar que varíen dentro de un área geográfica, en un mismo momento, (Olave-Solar, Santana et al. 2008)

La variabilidad climática es un importante tema de estudio para el proyecto “Evaluación de los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad y desarrollo de estrategias de adaptación en dos regiones de ecosistemas frágiles de Cuba” (CCambio); ya que, presenta una gran relevancia en la determinación del comportamiento de especies indicadoras y de su biodiversidad. Dentro de las variables del clima, la temperatura es un resultado de la energía solar, por tanto es regida, principalmente, por el efecto de la latitud en el ángulo de inclinación en el que esta energía llega a la superficie terrestre. Las áreas protegidas antes mencionadas precisan del conocimiento de la variable de TST para correlacionarla con los sitios donde nidifican y se habitan dos especies indicadoras del proyecto C.Cambio, como son: el cocodrilo cubano y la Tortuga marina.

Esta problemática puede ser resuelta a partir del empleo imágenes de la serie Landsat y del producto MOD-Q11A2 del sensor MODIS, en particular esta última por su gran resolución espectral y temporal así como su libre acceso, son una herramienta idónea para el monitoreo de la TST en estas áreas de difícil acceso, todo lo cual permitirá obtener la cartografía que muestre la variabilidad de la temperatura superficial en estos espacios geográficos.

El empleo de las bandas térmicas obtenidas desde satélite ha permitido un avance sustancial en la evaluación de la temperatura en la superficie terrestre y ha favorecido la eficiencia en la utilización de datos puntuales como los obtenidos por las estaciones meteorológicas. La información de energía o radiancia emitida y reflejada por la superficie terrestre proporcionada por satélites tales como Landsat, ha sido una de las más utilizadas, (Chuvienco 1996).

Desde 2009 se distribuyen gratuitamente imágenes de archivo y actuales de los satélites Landsat-5 TM (Thematic Mapper), Landsat-7 ETM + y LandSat-8 TST; que revisan cada 16 días un mismo punto en la tierra. Aunque resulta difícil encontrar imágenes con cielos despejados y la mayor parte de las disponibles presentan un considerable porcentaje de nubosidad, algunas de ellas permiten una interpretación confiable de los datos de temperatura.

Por su parte los productos de MODIS, brindan estimaciones de la temperatura y de la emisividad diurna y nocturna de las coberturas terrestres, diariamente la obtenemos del producto MOD11-A1 y en base a 8 días del producto MOD11-A2 con una resolución espacial de 1,000 m. Aunque existen otros productos con resolución de 6,000 m, el MOD11-B1 y con resolución espacial de 0.05 grados tenemos MOD11-C1 y MOD11-C2, con base diaria y cada 8 días mientras el MOD11-C3 se obtiene con base mensual; los primeros productos son los de mayor interés para resultados de nuestro proyecto.

Los productos a obtener con la aplicación de este protocolo son siguientes:

- Ficheros ráster con valores de temperatura superficial media diurna y nocturna para ocho días, en grados Celsius.
- Ficheros ráster con valores de temperatura superficial media mensual diurna y nocturna, en grados Celsius.
- Ficheros ráster con valores de temperatura superficial media anual diurna y nocturna, en grados Celsius.
- Ficheros vectoriales de puntos con valores de temperatura superficial media diurna y nocturna para ocho días, mensual diurna y nocturna, así como media anual diurna y nocturna en grados Celsius

El segundo protocolo tiene como objetivo, servir de guía metodológica para determinar la línea base de la fluctuación de los cuerpos de agua en los diferentes sectores del “Parque Nacional Ciénaga de Zapata”, a partir del empleo de imágenes ópticas de la serie Landsat ([Ver anexo 3](#)).

Como se conoce la disponibilidad de agua ha sido, es, y seguirá siendo un elemento clave en el desarrollo de las sociedades humanas. Por lo que reviste de gran importancia realizar un análisis riguroso de la dinámica hidrológica de los cuerpos de agua, no solo para tener estimativos de su cubrimiento; sino también para conocer cómo han cambiado en el tiempo y por lo tanto estimar cómo se comportarán en el futuro.

Es por ello que para los administradores de las áreas protegidas que se encuentran dentro del humedal Ciénaga de Zapata, el comportamiento de la fluctuación de los cuerpos de agua es un aspecto de vital importancia para toma de decisiones. Lo anterior requiere contar con información básica y oportuna, sobre el comportamiento de la fluctuación de cuerpos de agua, tanto en el periodo lluvioso como en el poco lluvioso.

Entre los cuerpos de agua del PN Ciénaga de Zapata, se encuentran las lagunas costeras y aguas interiores se destacan por su potencial productivo, por su papel ecológico, riqueza de su biodiversidad y por belleza escénica. Por su interés se destaca La Laguna del Tesoro, como la de mayor aporte hídrico y de importancia para el parque nacional; todo ello unido a que las zonas inundables, intermitentes de los herbazales de ciénaga; son sistemas integrales de recursos biológicos, provenientes del suelo y del agua, que desempeñan funciones vitales para el desarrollo sostenible, pero son frágiles ambientalmente.

Contando con todo lo anterior y considerando que el área protegida PN Ciénaga de Zapata, es una zona demasiado extensa y de difícil el acceso; la teledetección es una herramienta idónea para el monitoreo de los cuerpos de agua en este gran humedal (Navia Navia 2015).

Las imágenes de la serie Landsat gratuitas hoy en día y de libre acceso en internet, aparecen como una herramienta efectiva para la obtención de información cartográfica oportuna sobre la dinámica de los cuerpos de agua. Es por ello que los resultados que se obtengan del cartografiado del estado de estos cuerpos de agua con esta herramienta, sin duda alguna ayudará a las entidades encargadas de administrar estos recursos a tomar decisiones encaminadas a la conservación y aprovechamiento sostenible del medio ambiente.

La aplicación de este protocolo permitirá crear la línea base para el monitoreo de los cuerpos de agua en el parque nacional Ciénaga de Zapata, obteniéndose como principales productos:

- Mapa en formato vectorial de los cuerpos de agua, con tabla de valores asociados de área y perímetro calculado por el SIG.
- Diferencia entre periodo poco lluvioso y lluvioso, de un mismo año hidrológico.
- Diferencia interanual para los periodos poco lluviosos y lluvioso.

El tercer protocolo tiene como objetivo servir de guía metodológica para crear la línea base del monitoreo de la línea de costa y realizar estudios comparativos de los cambios en diferentes periodos; en las áreas del proyecto "C.Cambio" de forma semi-automatizada a partir de imágenes Landsat ([Ver anexo 4](#)).

Todo trabajo que aborde como objeto de estudio a la línea de costa, en primer lugar debe enfrentarse a la falta de definición de la misma. Cualquiera que sea el tipo de criterio que se aplique para delimitar esta franja costera, siempre se emplea como la línea de referencia, para su definición tierra adentro y mar adentro. Pero el concepto de línea de costa es un concepto irresoluble, que existe solo a partir del momento en el que es definida por unos criterios y una escala, y no antes.

La línea de costa es la línea en la superficie de la Tierra que define el límite entre el mar y la tierra firme. Históricamente ha sido uno de los principales elementos registrados por la Cartografía, debido al límite que la línea de costa ha representado para el desarrollo de las actividades humanas. (Tomado de Wikipedia 2014).

La línea de costa es a menudo un concepto ambiguo, existiendo varias causas de incertidumbre a la hora de definirla. Para el este protocolo se asume como línea de costa, a la línea determinada de forma semiautomática a partir de imágenes Landsat para una fecha determinada que define el límite entre el mar y la tierra firme, en la superficie que ocupan las áreas protegidas PN Ciénaga de Zapata y PN Jardines de la Reina.

Para establecer la frecuencia de monitoreo en este protocolo se tuvieron en cuenta varios factores y procesos, que de ocurrir provocaran cambios sustanciales y afectaciones en la zona costera de las dos regiones de estudio; donde las modificaciones provocadas por determinados procesos durante un periodo determinado pudieran ser cartografiadas. Es decir deben existir diferencias de la línea de costa para diferentes fechas por encima de los 30 m (resolución del pixel para el caso de una imagen Landsat).

Partiendo de lo anterior y teniendo en cuenta los estudios de los procesos de erosión y acreción de los sedimentos en las zonas contiguas o cercanas a las áreas del proyecto; así como la frecuencia del paso de eventos meteorológicos extremos como son la ocurrencia de ciclones tropicales y huracanes, no se justifica una medición de los cambios en la línea costera en un periodo inferior de cinco años; exceptuando a que ocurra el paso de un evento meteorológico extremo de gran magnitud y que su impacto provoque grandes cambios en la zona costera que merite una nueva evaluación de los cambios.

Como resultado de la aplicación de este protocolo, se obtendrá la cartografía del segmento de línea de costa a utilizar como línea base y a partir de una segunda fecha (la cual se comparará con la línea base) se presentará de conjunto con el nuevo segmento de línea de costa, la superficie y longitud de cambio por tramos costeros. Es decir en base a los cambios ocurridos y a la dinámica costera, se dividirá la línea de costa en tramos (con tendencia al retroceso y la erosión o con tendencia al avance y la acumulación), para los cuales se calculará área y la longitud del tramo costero en cuestión.

El cuarto protocolo titulado "Comportamiento espectral de la cobertura vegetal a partir de datos Landsat y MODIS" tiene como objetivo servir de guía metodológica para determinar la línea base del comportamiento espectral de la cobertura vegetal en las áreas de intervención del proyecto en los Parques Nacionales "Ciénaga de Zapata" y "Jardines de Reina", a partir de su obtención con el empleo de imágenes ópticas de la serie Landsat y de MODIS ([Ver anexo 5](#)).

El análisis de la vegetación y la detección de los cambios en los patrones de vegetación son claves para la evaluación y el monitoreo de recursos naturales. La detección y la evaluación de la vegetación es una de las aplicaciones principales de la percepción remota, permitiendo un adecuado manejo de los recursos ambientales y para la toma de decisiones.

En la actualidad, con los avances tecnológicos, para la determinación de la respuesta espectral de la cobertura vegetal se utilizan nuevas metodologías basadas en la utilización de indicadores espectrales obtenidos de las imágenes de satélites. En las aplicaciones de los sensores remotos para la determinación del comportamiento de la cobertura vegetal se ha utilizado el alto contraste entre las bandas del rojo (R) y del infrarrojo cercano (NIR) de las firmas espectrales de las hojas y follaje de la vegetación.

Hoy en día los indicadores más utilizados en la teledetección espacial para estudiar la vegetación son los llamados índices de vegetación. Los índices de vegetación (IV): se pueden definir como el parámetro calculado a partir de valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda (principalmente entre las ondas en el espectro visible y las infrarrojas) y que pretenden extraer de los mismos la información relacionada con la vegetación, reduciendo la influencia de perturbaciones como las debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas (Esperanza and Zerda 2002).

Para este fin, en los últimos 25 años se ha publicado un total de 40 índices de vegetación. Dentro de esta gran gama de índices de vegetación utilizados, en este protocolo se decidió emplear el Índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés), por ser el de menor complejidad y presenta una mejor discriminación de las cubiertas vegetales, es el índice de mayor empleo por parte de los investigadores, sus valores se encuentran entre -1 y 1, lo que facilita su interpretación y presenta la mejor relación costo/calidad.

Como resultado de la aplicación de este protocolo tendremos que para un primer año (Línea base), los valores promedio de la respuesta espectral de la cobertura vegetal, durante el mes, en cada estación del año (seca y lluvia) y el año, los cuales serán graficados. Además en formato raster o vectorial se podrá obtener la amplitud de la respuesta espectral de cada formación.

A partir de esta línea base para los siguientes años se podrá comenzar a determinar las diferencias en incremento o descenso de la respuesta espectral, así como los cambios fisionómicos y espaciales de las formaciones vegetales.

Debemos significar que este protocolo aunque fue concebido para ser aplicado a dos áreas marinas costeras del sur de Cuba puede ser utilizado para todo el país y brindar información relevante para la comunicación nacional que realiza nuestro ministerio de CITMA.

El quinto y último protocolo titulado "Detección de cambios en las coberturas de bosque, manglar y herbazal de ciénaga, empleando la técnica del Sensoramiento Remoto" tiene como objetivo servir de guía metodológica para establecer la línea base de las coberturas de bosque, manglar y herbazal de ciénaga; así como detectar cambios para cada una de las coberturas a partir de su medición en años consecutivos, en los puntos de monitoreo

definidos para los PN “Ciénaga de Zapata” y “Jardines de la Reina”; con el empleo de imágenes Landsat ([Ver anexo 6](#)).

Como se conoce el estudio de los tipos de cobertura vegetal es uno de los temas clásicos de la teledetección, esta información presenta la particularidad de proveer mediciones consistentes, lo que posibilita la detección de cambios tanto abruptos como graduales en la superficie de la misma (área y perímetro) (Gross, Dubois et al. 2013). Para detectar cambios en la cobertura vegetal existe una multiplicidad de técnicas como son: Álgebra de mapas, Transformación de imágenes (transformaciones multivariadas) tales como análisis de componentes principales, índice de vegetación, entre otros), Post-clasificación y Modelación.

Según (Jiménez, González et al. 2011), estos se pueden agrupar atendiendo a la temporalidad de la información en métodos de: análisis bitemporal, análisis multitemporal y de predicción de cambios a futuro.

Durante las últimas décadas en los PN “Ciénaga de Zapata” y “Jardines de la Reina”, se vienen experimentando procesos de cambios ambientales sin precedentes en la historia. La muerte de manglares, el incremento de los incendios en los bosques y en el herbazal de ciénaga, la acreación y erosión de las costas y el cambio climático son algunas de las principales causas. Para el estudio del cambio en las superficies de las coberturas de bosques, manglar y herbazal de ciénaga, se requiere de información actualizada y accesible para el seguimiento del estado de estos ecosistemas, el cual se viene desarrollando en el marco del proyecto C.Cambio a través de diferentes herramientas y metodologías.

Como se observa en la literatura en mayoría de los casos el empleo de las imágenes de satélite son tomadas como fuente de referencia para realizar análisis de detección de cambios. En este sentido la tarea se economiza ya que desde 2009 se distribuyen gratuitamente imágenes de archivo y actuales de los satélites Landsat TM (Thematic Mapper) 5, Landsat 7 ETM + y Landsat-OLI, que revisan cada 16 días las áreas protegidas PN Ciénaga de Zapata y PN Jardines de la Reina. Aunque resulta difícil encontrar imágenes con cielos despejados y la mayor parte de las disponibles presentan un considerable porcentaje de nubosidad, algunas de ellas permiten una interpretación confiable de las coberturas de bosques, manglar y herbazal de ciénaga.

Se propone que este tipo de monitoreo se realice a partir del empleo de imágenes de la serie Landsat, dado su carácter gratuito, frecuencia, área que ocupan (entre 15 y 16 imágenes cubren todo el país), tradición continuada, bases existentes desde principios mediados de los 70, tamaño del pixel y calidad demostrada. La frecuencia propuesta para este monitoreo es de 5 años, aunque puede ser menor por evaluar la influencia de eventos naturales o antrópicos extremos (huracanes, incendios, grandes obras, etc.) que se consideren han provocado cambios importantes en la cobertura o por consideraciones de otro tipo.

Los productos que se prevé obtener con la aplicación de este protocolo son los siguientes:

- Fichero vectorial en formato shp, con los polígonos de las coberturas de bosques, manglar y herbazal de ciénaga.

- Tabla con valores de las superficies de las coberturas de bosques, manglar y herbazal de ciénaga.
- A partir de una segunda fecha de monitoreo se entregará una tabla con las diferencias entre las superficies medidas (cambios) en años consecutivos y respecto a la línea base para cada una de las coberturas.

### **I.3- CREACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA TEMÁTICA SOBRE EL PAISAJE ACTUAL A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE**

La ausencia de enfoques como el geocológico al estudio de los humedales, trae aparejado el desconocimiento de los rasgos estructurales y dinámico-funcionales de sus paisajes, todo lo cual influye en la correcta evaluación de los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad marino costera de los PN “Ciénaga de Zapata” y “Jardines de la Reina”; es por ello que se precisa de cartografía actualizada sobre el paisaje actual de estos dos regiones.

#### **Paisajes del PN Ciénaga de Zapata**

La actividad antropogénica en el PN Ciénaga de Zapata, ha generado alteraciones en los componentes del paisaje, lo que ha alterado su funcionamiento como sistema, generando diferentes niveles de degradación geocológica lo que se refleja finalmente en el estado del humedal (Alfonso Martínez 2015). Entre los principales problemas de modificación del paisaje, encontramos a la alteración del régimen hídrico, la afectación a la biodiversidad, y la erosión costera.

Aunque en el PN Ciénaga de Zapata se han cartografiado con anterioridad su paisaje (ACC 1993, Cabrera 1996, IGT 2005, Órgano-CITMA-CZ 2008), se precisa de una nueva actualización, debido en lo fundamental a que la zona ha estado afectada en la última década por la actividad forestal que en la actualidad tiene como uso el de conservación, el turismo, la acuicultura, los incendios forestales; y otras notables afectaciones relacionadas con la introducción de especies de flora y fauna invasoras exóticas; lo que dificulta evaluación de los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad marino costera en el contexto actual.

La figura (paisaje CZ) se muestra como resultado la cartografía de paisaje actual del PN Ciénaga de Zapata con el empleo de imágenes de satélite Landsat-OLI, según la clasificación propuesta por Alfonso, (2015) y que describe más abajo. Como resultado se aprecia el predominio del tipo de superficies pantanosas, o semipantanosas, sobre depósitos biogénicos y palustres en algunos casos, sobre rocas carbonatadas correspondientes a la formación Jaimanitas, con procesos cársicos notables y diferentes asociaciones de tipos de vegetación de humedales. Son paisajes jóvenes e inestables, sobre todo, los que se encuentran en los litorales y en la llanura fluvio-marina sobre depósitos cuaternarios biogénicos y palustres en comparación con los que se ubican en los paisajes estructurales, transicionales y cársicos, sobre depósitos carbonatados y biogénicos donde existe mayor desarrollo de los procesos de pedogénesis, con la existencia, en algunos sitios, de espesores considerables de turba.

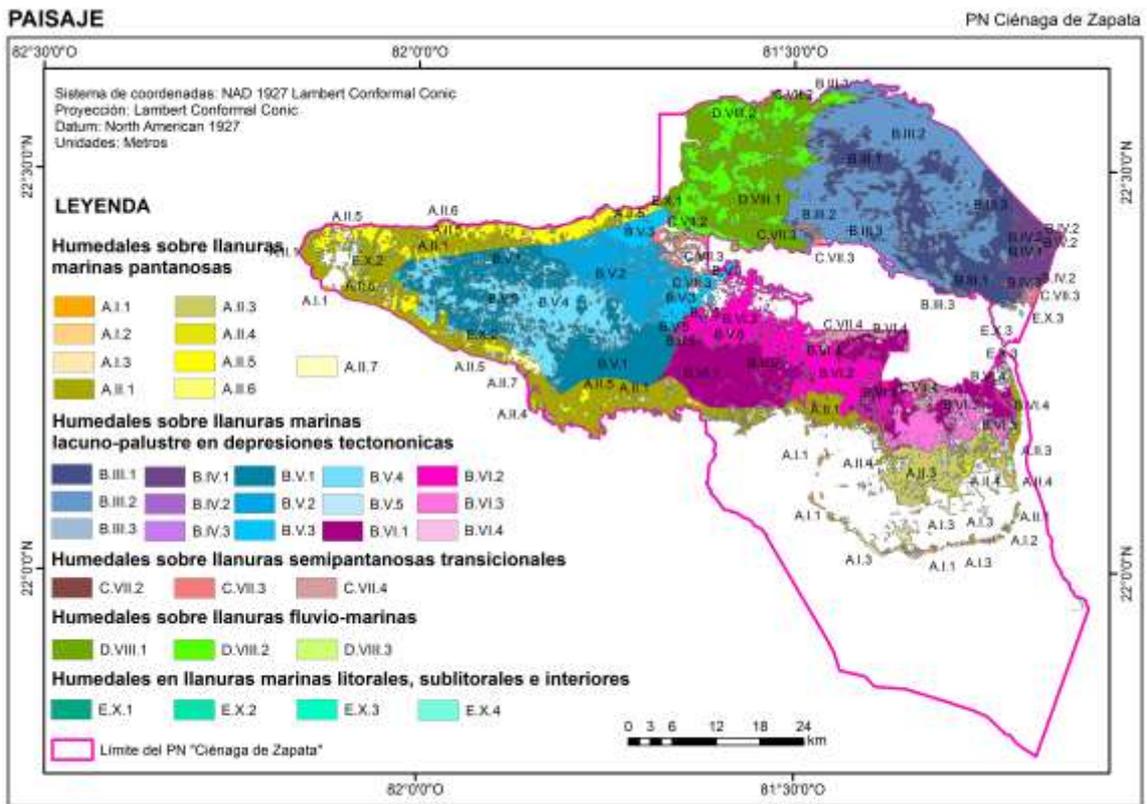


Figura- Mapa de paisaje del PN Ciénaga de Zapata.

Tabla- Leyenda de los paisajes del PN Ciénaga de Zapata:

PAISAJES NATURALES		
A.-	HUMEDALES SOBRE LLANURAS MARINAS ASOCIADAS A OSCILACIONES CUATERNARIAS DEL NIVEL DEL MAR CON CLIMA CÁLIDO Y POCO LLUVIOSO.	
I.	- Humedales sobre llanura pantanosa insular (cayos) sobre depósitos palustres y biogénicos con predominio de suelos hidromórficos (histosoles), de permanente a frecuentemente inundados, con vegetación de manglar y saladar.	
	A.I.1.	-Superficies pantanosas, muy bajas y aplanadas, entre 0 y 1 m, sobre depósitos cuaternarios, palustres y biogénicos, con suelos hidrométricos (histosol fíbrico), permanente a frecuentemente inundados, con vegetación de manglar, con predominio de Rhizophora mangle.
	A.I.2.	-Lagunas someras, entre 0 y 1 metro, redondeadas, con bordes de vegetación de manglar, con predominio de Rhizophora mangle.
	A.I.3.	- Superficies pantanosas, muy bajas y aplanadas, entre 0 y 1 metro, sobre depósitos palustres con suelos poco desarrollados, estacionalmente y ocasionalmente inundadas, con vegetación de saladar, con predominio de Batis maritima.
II.	- Humedales sobre llanuras litorales y sublitorales pantanosas sobre depósitos palustre, palustres marinos y areno arcillosos y arcillo arenosos con predominio de suelos hidromórficos costeros (histosoles), frecuentemente inundados, con vegetación de manglar, saladar, herbazal de ciénaga y bosque de ciénaga.	
	A.II.1.	- Superficies pantanosas costeras muy bajas, entre 0 y 1 metro, sobre depósitos palustres con predominio de suelos hidromórficos,

		permanentemente a estacionalmente inundadas, cubiertas por manglares, con predominio de <i>Rhizophora mangle</i> .
	A.II.2.	- En faja pantanosa, entre 0 y 2 metros, sobre depósitos carbonatados, sobre vertisuelos con manglares con predominio de <i>Avicennia germinans</i> .
	A.II.3.	- En fajas semipantanosas, acumulativo-abrasivas y pantanosas, muy baja entre 1 y 2 metros, sobre depósitos palustres, con vertisuelos y suelos poco desarrollados, estacionalmente a ocasionalmente inundadas, con vegetación de saladar, con predominio de <i>Batis marítima</i> .
	A.II.4.	- Lagunas costeras, entre 0 y 1 metros, sobre depósitos palustres rodeada de manglar con predominio de <i>Rizophora mangle</i> .
	A.II.5.	- Superficies pantanosas, costeras, bajas, entre 0 y 2 metros, sobre depósitos palustres y biogénicos, con predominio de suelos hidromórficos estacionalmente inundados, cubiertos por herbazal de ciénaga con predominio de <i>Cladium jamaicensis</i> .
	A.II.6.	- Superficies pantanosas, costeras, bajas, entre 1-2 metros, sobre depósitos cuaternarios, palustres y biogénicos, con predominio de suelos hidromórficos estacionalmente inundados, cubiertos por bosque de ciénaga típico, con predominio de <i>Bucida palustris</i> .
	A.II.7.	- Superficies semipantanosas subcosteras, entre 1 y 2 metros, sobre depósitos palustres y carbonatados, con predominio de vertisuelos y en parte hidromórficos, estacionalmente inundados, cubiertos por herbazal de ciénaga, con predominio de <i>Cladium jamaicensis</i> .
<b>B.</b>	<b>- HUMEDALES SOBRE LLANURAS MARINAS LACUNO-PALUSTRE EN DEPRESIONES TECTÓNICAS CON CLIMA MUY CÁLIDO E INVIERNO NOTABLE, MEDIANAMENTE LLUVIOSO.</b>	
<b>III.</b>	<b>- Humedales sobre llanuras pantanosas entre 2 y 3 metros en grandes depresiones tectónicas (en bloque graben) sobre depósitos biogénicos y suelos hidromórficos estacionalmente inundados cubiertos por manglar, herbazal de ciénaga y en parte bosques de ciénaga.</b>	
	B.III.1.	- Superficies pantanosas sobre depósitos cuaternarios biogénicos entre 2 y 3 metros, con suelos hidromórficos, estacionalmente a frecuentemente inundados, cubierto por manglar con predominio de <i>Rhizophora mangle</i> .
	B.III.2.	- Superficies pantanosas sobre depósitos biogénicos, entre 2 y 3 metros, con suelos hidromórficos, estacionalmente inundadas, cubiertas por herbazal de ciénaga, con predominio de <i>Cladium jamaicensis</i> .
	B.III.3.	- Superficie pantanosa en depresión tectónica sobre depósitos biogénicos entre 2 y 3 metros, con suelos hidromórficos, ocasionalmente a estacionalmente inundados cubierto por bosque de ciénaga típico con predominio de <i>Bucida palustris</i> .
<b>IV.-</b>	<b>Humedales sobre llanuras pantanosas en grandes depresiones tectónicas (en bloque hórstico), sobre depósitos biogénicos y suelos hidromórficos estacionalmente inundados cubiertos por manglar, herbazal de ciénaga y en parte bosques de ciénaga.</b>	
	B.IV.1.	- Superficies pantanosas, entre 2 y 3 metros, sobre depósitos biogénicos con predominio de suelo hidromórficos y vertisuelos, poco desarrollados, estacionalmente inundadas, cubiertas por herbazal de ciénaga, con predominio de <i>Cladium jamaicensis</i> , en parte, <i>Acoelorrhapha wrightii</i> , <i>Ilex cassine</i> y <i>Myrica cerifera</i> .
	B.IV.2.	- Superficies pantanosas, entre 2 y 3 metros, sobre depósitos biogénicos, con predominio de suelos hidromórficos y húmicos

		calcimórficos, estacionalmente inundadas, cubiertas por manglar con predominio de <i>Rhizophora mangle</i> .
	B.IV.3.	- Superficies pantanosas, entre 2 y 3 metros, sobre depósitos biogénicos, con suelos hidromórficos y húmicos calcimórficos, ocasionalmente a estacionalmente inundadas, cubiertas por bosque de ciénaga típico, con predominio de <i>Bucida palustris</i> .
	V.	<b>- Humedales sobre llanuras pantanosas sobre depósitos biogénicos y palustre, en partes abrasivo acumulativas, muy bajas y aplanadas con predominio de suelo hidromórficos y poco desarrollados, estacionalmente inundados, con vegetación de manglares, herbazal de ciénaga y bosque de ciénaga típico.</b>
	B.V.1.	- Superficies semipantanosas, bajas a muy bajas, de 0 a 1 metro, sobre depósitos cuaternarios biogénicos y palustres, con suelos hidromórficos, frecuentemente a estacionalmente inundadas, con vegetación de manglar achaparrado, con predominio de <i>Conocarpus erecta</i> .
	B.V.2.	- Superficies semipantanosas, bajas a muy bajas, de 1 a 2 metros, sobre depósitos biogénicos y carbonatados, con suelos hidromórficos (histosol fibríco), frecuentemente a estacionalmente inundadas, con vegetación de manglar achaparrado con predominio de <i>Conocarpus erecta</i> .
	B.V.3.	- Superficies semipantanosas, bajas o muy bajas, de 1 a 2 metros, con suelo hidromórficos (histosol fibríco), estacionalmente inundadas, con vegetación de herbazal de ciénaga, con predominio de <i>Cladium Jaimacensis</i> , y en partes con <i>Acoelorrhaphe wrightii</i> , <i>Ilex cassine</i> y <i>Eleocharis celulosa</i> .
	B.V.4.	- Superficies semipantanosas bajas o muy bajas, entre 0 y 1 metros, sobre depósitos biogénicos con suelos hidromórficos (histosol fibríco) y vegetación de herbazal de ciénaga con predominio de <i>Cladium Jaimacensis</i> y en partes <i>Acoelorrhaphe wrightii</i> .
	B.V.5.	- Superficies semipantanosas bajas o muy bajas, entre 0 y 1 metro, sobre depósitos biogénicos con suelos hidromórficos (histosol fibríco) estacionalmente inundadas, con bosque de ciénaga típico con predominio de <i>Bucida palustris</i> y <i>Bucida spinosa</i> .
	VI.	<b>-Humedales sobre superficies cársicas pantanosas bajas y aplanadas, con formas abrasivo acumulativas cársicas y predominio de suelos hidromórficos y poco desarrollados, estacionalmente a ocasionalmente inundados, cubierto por manglares, herbazales de ciénaga y saladares.</b>
	B.VI.1.	- Superficies pantanosas, en partes con presencia de procesos cársicos, muy bajas, entre 0 y 2 metros, con predominio de suelos hidromórficos (histosol fibríco), frecuentemente a estacionalmente inundados, cubiertos por manglares achaparrados con predominio de <i>Conocarpus erecta</i> .
	B.VI.2.	- Superficies pantanosas, en partes con débiles procesos cársicos, muy bajas, entre 0 y 1 metro, sobre depósitos biogénicos con predominio de suelos hidromórficos y vertisuelos, estacionalmente inundados, cubiertos por herbazales de ciénaga con predominio de <i>Cladium Jaimacensis</i> , <i>Eleocharis celulosa</i> , <i>Acoelorrhaphe wrightii</i> e <i>Ilex cassine</i> .
	B.VI.3	-Superficies pantanosas costeras y subcosteras, en partes con débiles procesos cársicos, bajas, entre 1 y 2 metros, sobre depósitos biogénicos, con suelos poco desarrollados (histosol fibríco e histosol sáprico), estacionalmente a ocasionalmente inundados, con saladares y predominio de <i>Batis maritima</i> y <i>Distichlis spicata</i> .

	B.VI.4	-Superficies pantanosas, lacuno-palustres, en partes con débiles procesos cársicos, bajas, entre 0 y 2 metros, sobre depósitos biogénicos, con predominio de suelos hidromórficos (histosol fíbrico), estacionalmente a ocasionalmente inundados, cubiertos por bosque de ciénaga típico con predominio de Bucida palustris y Bucida spinosa.
<b>C. -HUMEDALES SOBRE LLANURAS SEMIPANTANOSAS PERIFÉRICAS O TRANSICIONALES, CON CLIMA CÁLIDO DE POCO A MEDIANAMENTE LLUVIOSO.</b>		
<b>VII.</b>		<b>- Humedales sobre llanuras transicionales semipantanosas sobre depósitos arcillosos y rocas carbonatadas de las formaciones transgresivas marinas con predominio de suelos húmicos, ferralíticos e hidromórficos, estacionalmente inundados, y predominio de bosques de ciénagas.</b>
	C.VII.2.	- En franja transicional, entre 2 y 4 metros, sobre depósitos cuaternarios, carbonatados y biogénicos, con suelos hidromórficos y húmicos calcimórficos, estacionalmente inundados, con bosque de ciénaga típico, con predominio de Bucida palustris y Bucida spinosa, y en partes Roystonea regia.
	C.VII.3.	- En faja transicional, bordeando llanuras cársicas interiores, entre 3 y 4 metros, sobre depósitos carbonatados con suelos húmicos calcimórficos e hidromórficos, poco desarrollados, estacionalmente inundados, con bosques de ciénaga típico con predominio de Bucida palustris y Bucida spinosa.
	C.VII.4.	- En faja transicional, entre 2 y 4 metros, sobre depósitos carbonatados y biogénicos, con suelos húmicos calcimórficos, poco desarrollados e hidromórficos, estacionalmente inundadas, con bosques siempreverde de ciénaga bajo con predominio de Bucida palustris y Bucida spinosa.
<b>D.- HUMEDALES SOBRE LLANURAS FLUVIALES Y FLUVIO MARINAS, CON PREDOMINIO DE CLIMA MUY CÁLIDO E INVIERNO NOTABLE Y MEDIANAMENTE LLUVIOSO.</b>		
<b>VIII.</b>		<b>- Humedales sobre llanuras fluvioamarinas, acumulativas y pantanosas, y en valles fluviales, sobre depósitos recientes biogénicos y aluviomarinos con predominio de suelos hidromórficos, oscuros plásticos y aluviales, estacionalmente inundados, con herbazal de ciénagas y, en partes, manglares y cultivos.</b>
	D.VIII.1	- Superficies fluvioamarinas, pantanosas, muy bajas, entre 0 y 1 metro, sobre depósitos biogénicos, con suelos hidromórficos, permanente a frecuentemente inundadas, cubiertas por manglar con predominio de Rhizophora mangle.
	D.VIII.2.	- Superficies fluvioamarinas, pantanosas, bajas, entre 1 y 2 metros, sobre depósitos biogénicos con suelos hidromórficos (histosol fíbrico) frecuentemente a estacionalmente inundadas, cubiertas por herbazal de ciénaga con predominio de Cladium jamaicensis.
	D.VIII.3.	- Superficies fluvioamarinas, pantanosas, bajas, entre 1 y 2 metros, sobre depósitos biogénicos, con suelos hidromórficos (histosol fíbrico), estacional a ocasionalmente inundadas, cubiertas por bosque de ciénaga típico con predominio de Bucida palustris y Bucida spinosa.
<b>E.- HUMEDALES SOBRE LLANURAS MARINAS LITORALES, SUBLITORALES E INTERIORES CON CLIMA CÁLIDO E INVIERNO NOTABLE, POCO A MEDIANAMENTE LLUVIOSO.</b>		
<b>IX.</b>		<b>- Humedales en depresiones cársicas y en grietas longitudinales</b>

		<b>alargadas, sobre depósitos cuaternarios palustres, biogénicos y carbonatados con suelos hidromórficos, húmicos calcimórfico y poco desarrollados, permanente inundados a estacionalmente inundados, con manglares, herbazales y bosques de ciénaga.</b>
	E.IX.1.	- Lagunas en depresiones cársicas acumulativas costeras, bajas, entre 0 y 2 metros, con procesos acumulativos, y suelos hidromórficos y vertisuelos, poco profundos, permanentemente o estacionalmente inundadas, con manglar con predominio de <i>Rhizophora mangle</i> .
	E.IX.2.	- Lagunas en depresiones del interior de superficies semipantanosas bajas y muy bajas, entre 0 y 2 metros, sobre depósitos lacuno-palustres y biogénicos, con suelos hidromórficos y poco desarrollados, permanente a estacionalmente inundada, con vegetación de manglar, con predominio de <i>Rhizophora mangle</i> .
	E.IX.3.	- Lagunas en depresiones asociadas a grietas longitudinales alargadas, sobre depósitos carbonatados, bordeadas por suelos húmicos calcimórficos, permanente inundadas, con herbazal de ciénaga con predominio de <i>Cladium jamaicensis</i> y <i>Typha dominguensis</i> , y en partes, matorral xeromorfo costero.
	E.IX.4.	- Lagunas asociadas a depresiones de origen tectónico, sobre depósitos biogénicos y carbonatados, bordeadas por herbazal de ciénaga con predominio de <i>Typha dominguensis</i> , <i>Cladium jamaicensis</i> y partes de manglar con predominio de <i>Rhizophora mangle</i> .

#### **I.4- CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA BASE PARA EL MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD MARINA, EL CLIMA, EL PAISAJE Y LA DINÁMICA E HIDROLOGÍA DE LAS AGUAS RESPECTO AL CAMBIO CLIMÁTICO.**

La variabilidad climática es un importante tema de estudio para el proyecto “Evaluación de los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad y desarrollo de estrategias de adaptación en dos regiones de ecosistemas frágiles de Cuba” (CCambio); ya que, presenta una gran relevancia en la determinación del comportamiento de especies y de la biodiversidad. Dentro de las variables del clima, la temperatura es un resultado de la energía solar, por tanto es regida, principalmente, por el efecto de la latitud en el ángulo de inclinación en el que esta energía llega a la superficie terrestre. Las áreas protegidas PN Ciénaga de Zapata y PN Jardines de la Reina, precisan del conocimiento de la variable de TST para correlacionarla con los sitios de monitoreo de especies en el marco del proyecto CCambio.

##### **Línea base de la variable temperatura de la superficie de la tierra**

Esta problemática será resuelta creando una línea base de la variable temperatura de la superficie de la tierra a partir del empleo imágenes de la serie Landsat y del producto MOD-Q11A2 del sensor MODIS, en particular esta última por su gran resolución espectral y temporal así como su libre acceso, es una herramienta idónea para el monitoreo de la TS en estas áreas de difícil acceso; todo lo cual permitirá obtener la cartografía que muestre la variabilidad de la temperatura superficial en estos espacios geográficos.

Las zonas para la creación de la línea base del monitoreo son: el área protegida PN Ciénaga de Zapata, y el área protegida PN Jardines de la Reina, la cual está alejada de tierra firme y no cuenta con estaciones meteorológicas ubicadas dentro del área.

Para el cálculo de la temperatura de la superficie terrestre con Landsat 8-TIRS para crear la línea base del monitoreo de la temperatura de la superficie terrestre, se utilizó como materiales de partida para el PN Ciénaga de Zapata, las imágenes con fecha de:

<b>No</b>	<b>Path 045 – Row 044</b>	<b>Fecha</b>	<b>Path 045 – Row 045</b>	<b>Fecha</b>
1	LC80150442014002LGN00	2/01/2014	LC80150452014002LGN00	2/01/2014
2	LC80150442014018LGN00	18 /01/2014	LC80150452014018LGN00	18 /01/2014
3	LC80150442014050LGN00	19/02/2014	LC80150452014050LGN00	19/02/2014
4	LC80150442014146LGN00	26/05/2014	LC80150452014146LGN00	26/05/2014
5	LC80150442014178LGN00	27/06/2014	LC80150452014178LGN00	27/06/2014

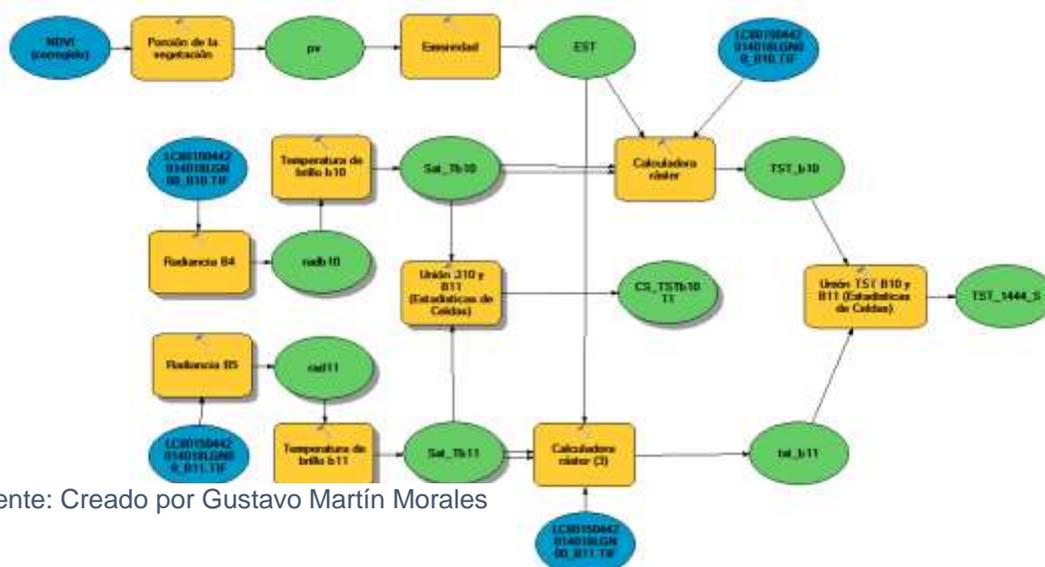
Para el PN Jardines de la Reina, las imágenes con fecha de:

<b>No</b>	<b>Path 045 – Row 044</b>	<b>Fecha</b>	<b>Path 045 – Row 045</b>	<b>Fecha</b>
1	LC80130462014052LGN00	21/02/2014	LC80140452014043LGN00	12/02/2014

2	LC80130462014180LGN00	29/06/2014	LC80140452014091LGN00	01/04/2014
3	LC80130462014228LGN00	16/06/2014	LC80140452014187LGN00	06/07/2014
4	LC80130462014324LGN00	20/11/2014	LC80140452014363LGN00	29/12/2014

Las imágenes de Landsat 8, con fecha 2014 fueron procesadas empleando el procedimiento metodológico establecido por (Martín, Estrada et al. 2015) para realizar la corrida de los modelos de TST de las AP Ciénaga de Zapata y Jardines de la Reina, se programó en Phyton un scrip que funciona sobre el software ArcGIS 10.2; el esquema general se puede observar en la figura siguiente:.

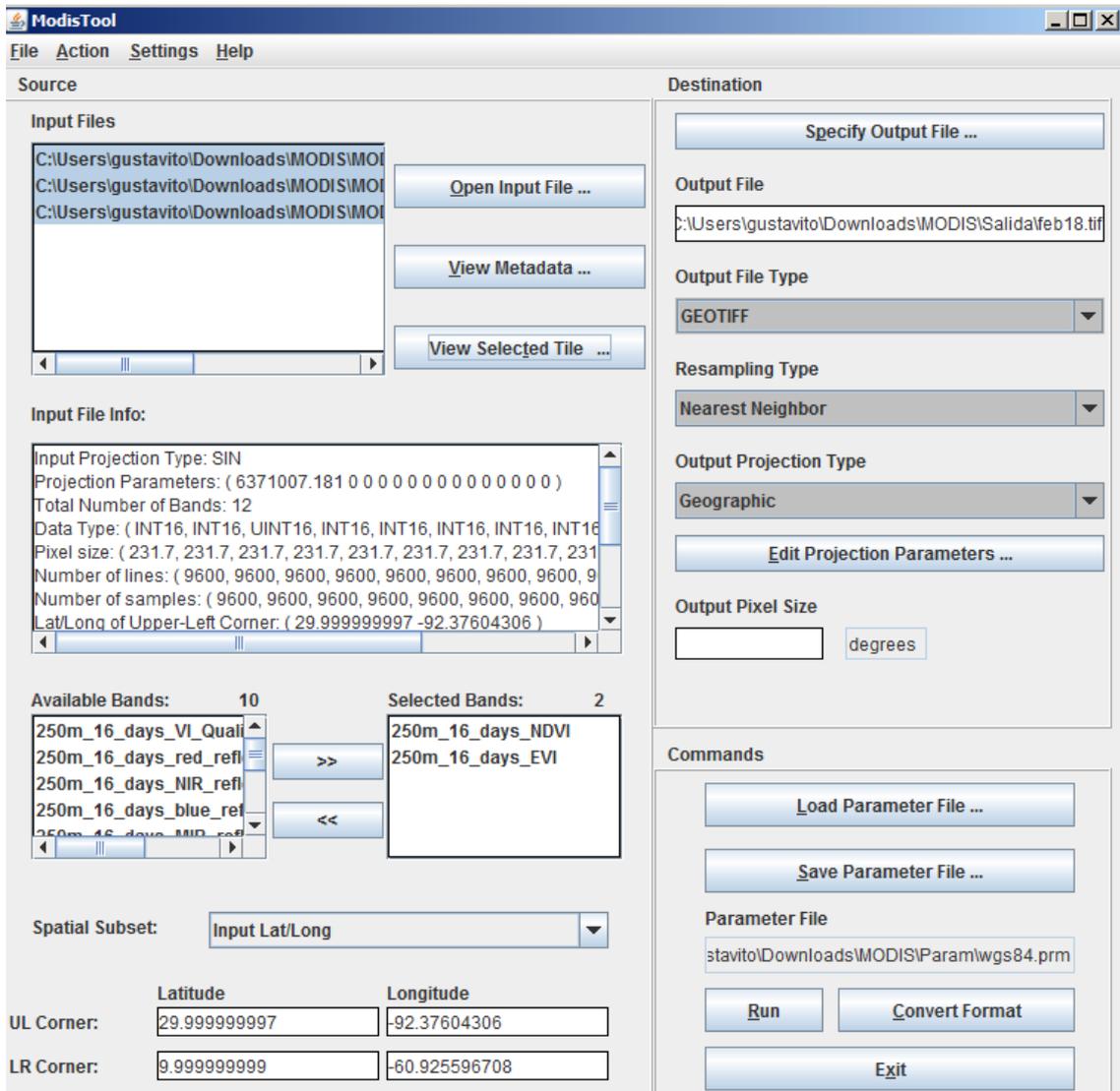
Figura 1- Esquema general del procedimiento realizado para obtener la TST a partir del empleo de imágenes Landsat TIRS.



Fuente: Creado por Gustavo Martín Morales

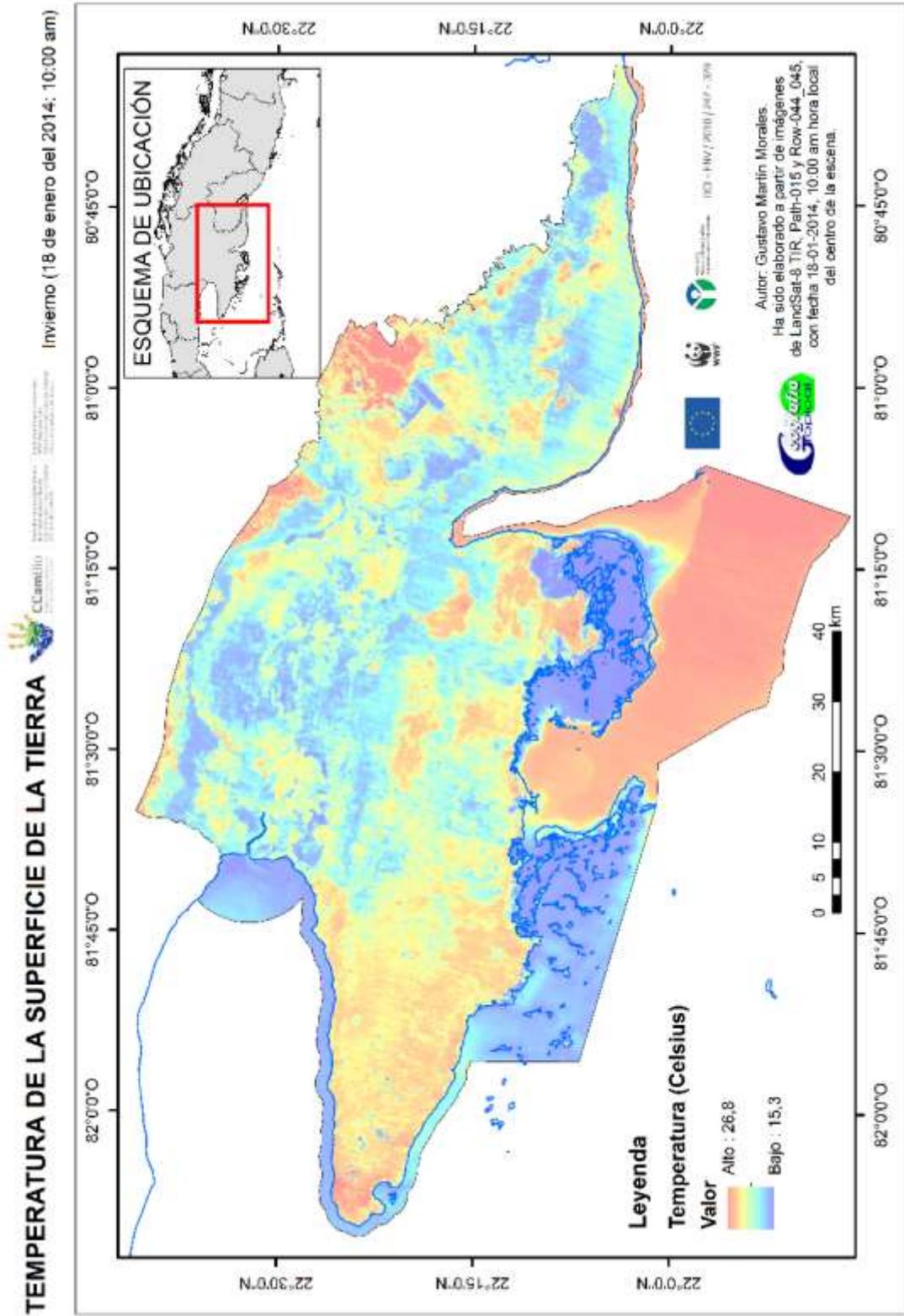
Para obtener los valores de temperatura con MODIS, se descargaron las escenas correspondientes al primer y segundo trimestre del 2014 del sitio LP DAAC Data Pool vía ftp, en: [ftp://e4ftl01.cr.usgs.gov/MODIS\\_Composites/MOLT/MOD11A2.005/](ftp://e4ftl01.cr.usgs.gov/MODIS_Composites/MOLT/MOD11A2.005/) para ello se seleccionó la cuadrículas H10-V6.

Para realizar el pre-procesamiento, se utilizó el programa MODIS Tool MRT, (U.S.GeologicalSurvey 2013), el mismo permitió re proyectar datos de niveles 2G, 3 y 4, en las proyecciones geográficas de: WGS84.



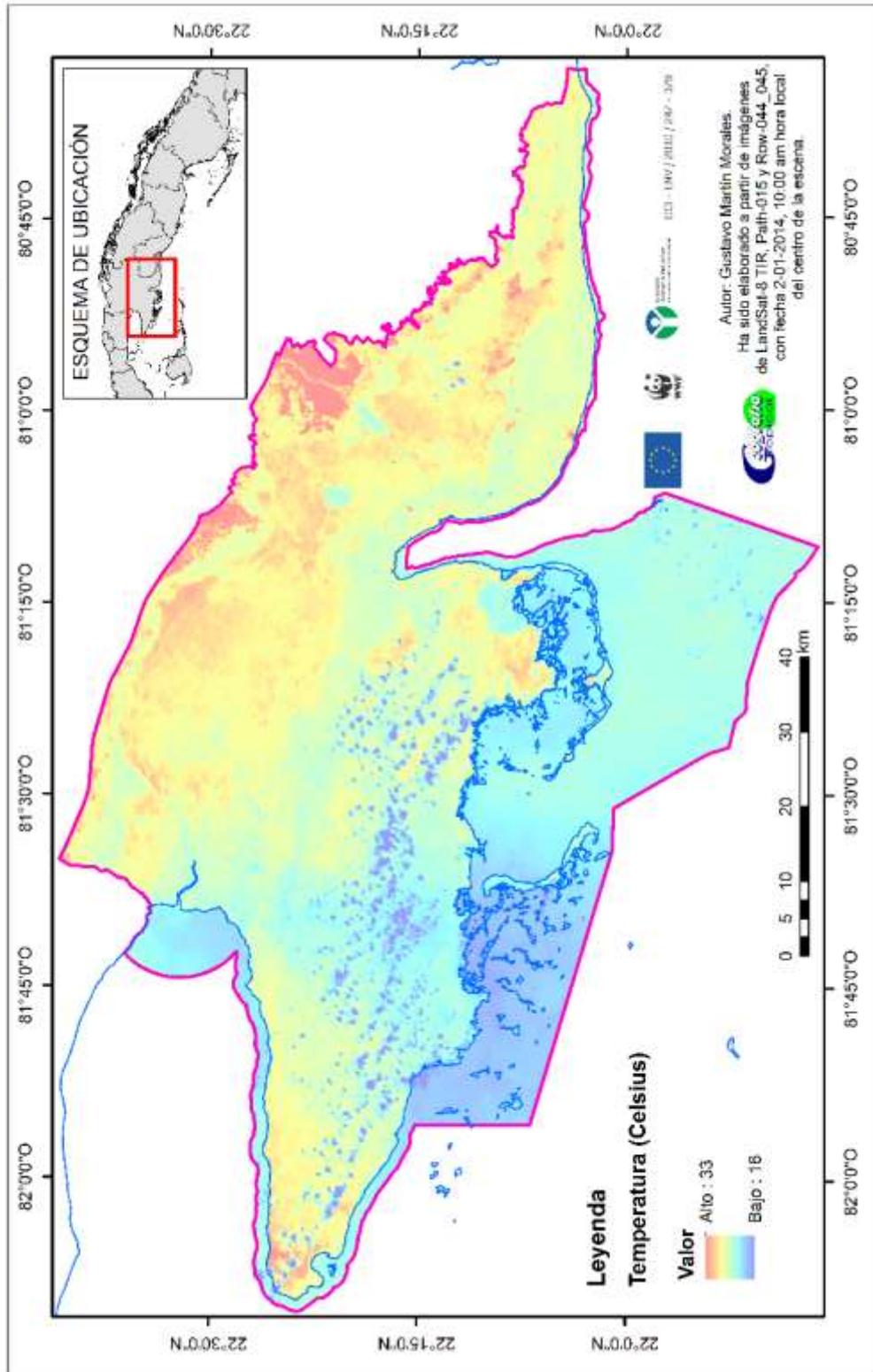
Se muestran a continuación los valores de TST de los puntos de monitoreo obtenidos con Landsat-TIR, en formato ráster.

**PN Ciénaga de Zapata**



# TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

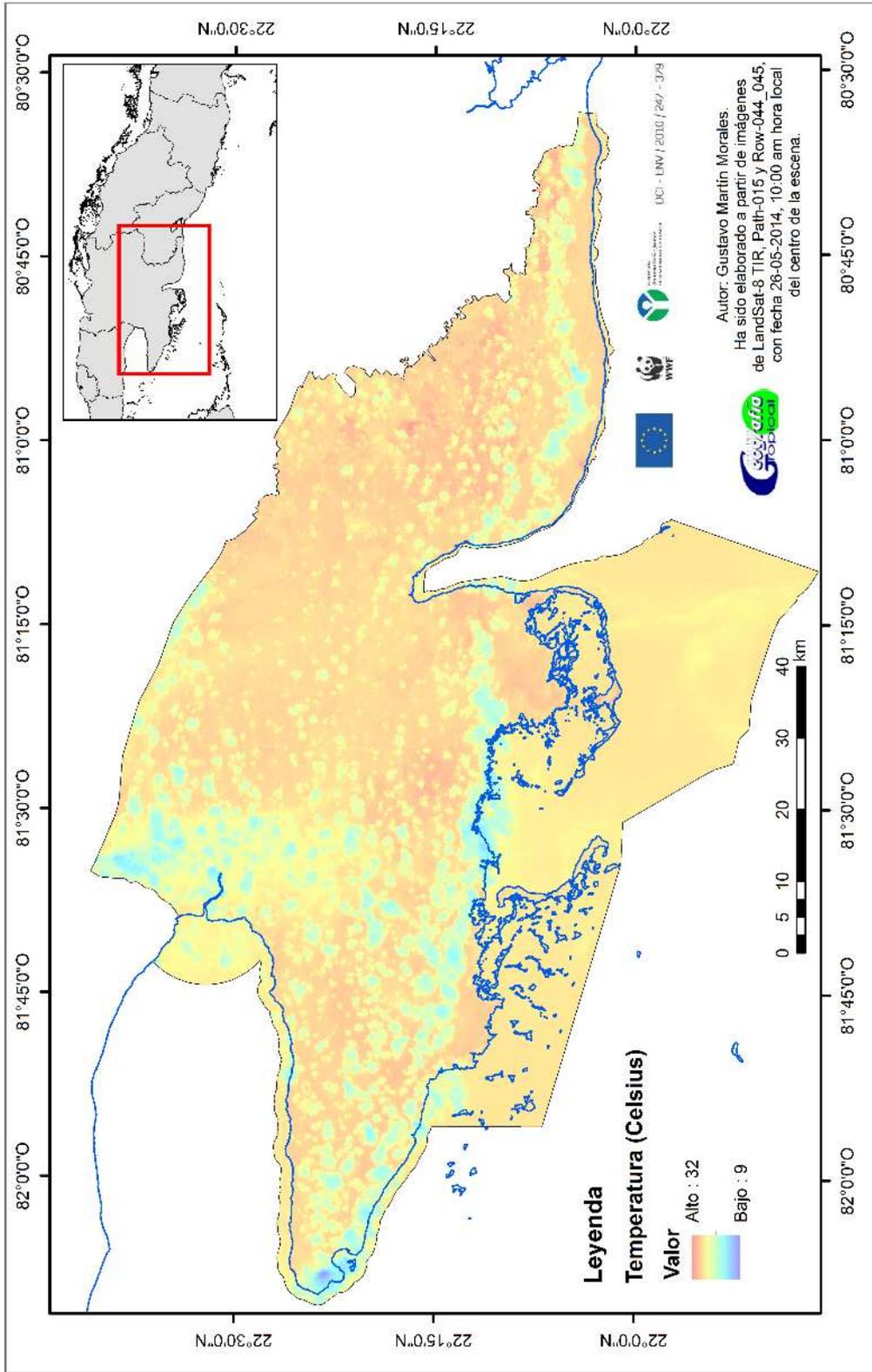

**Invierno (2 de enero del 2014, 10:00 am)**



# TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA



Verano (26 de mayo del 2014: 10:00 am)

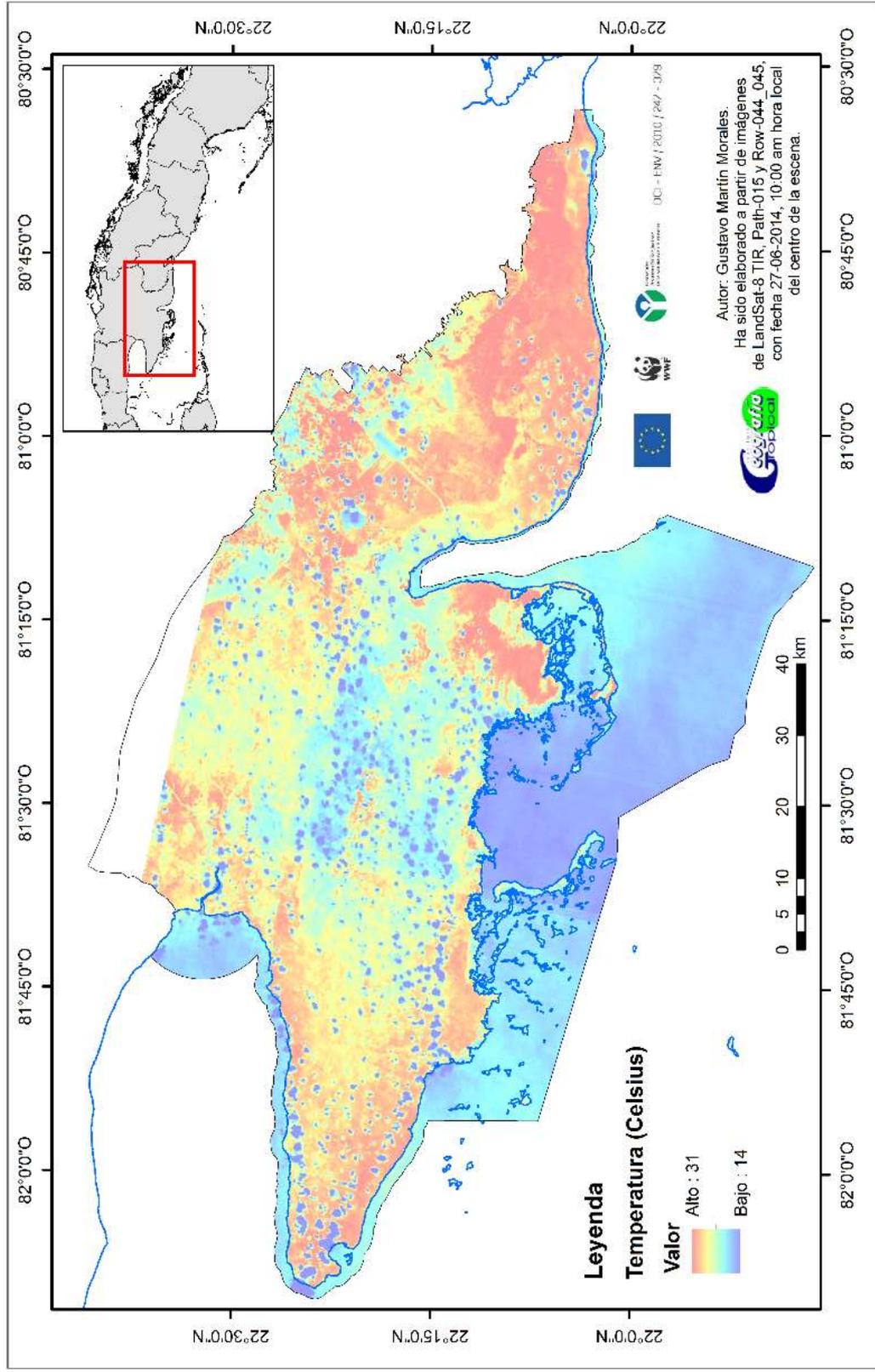


# TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA



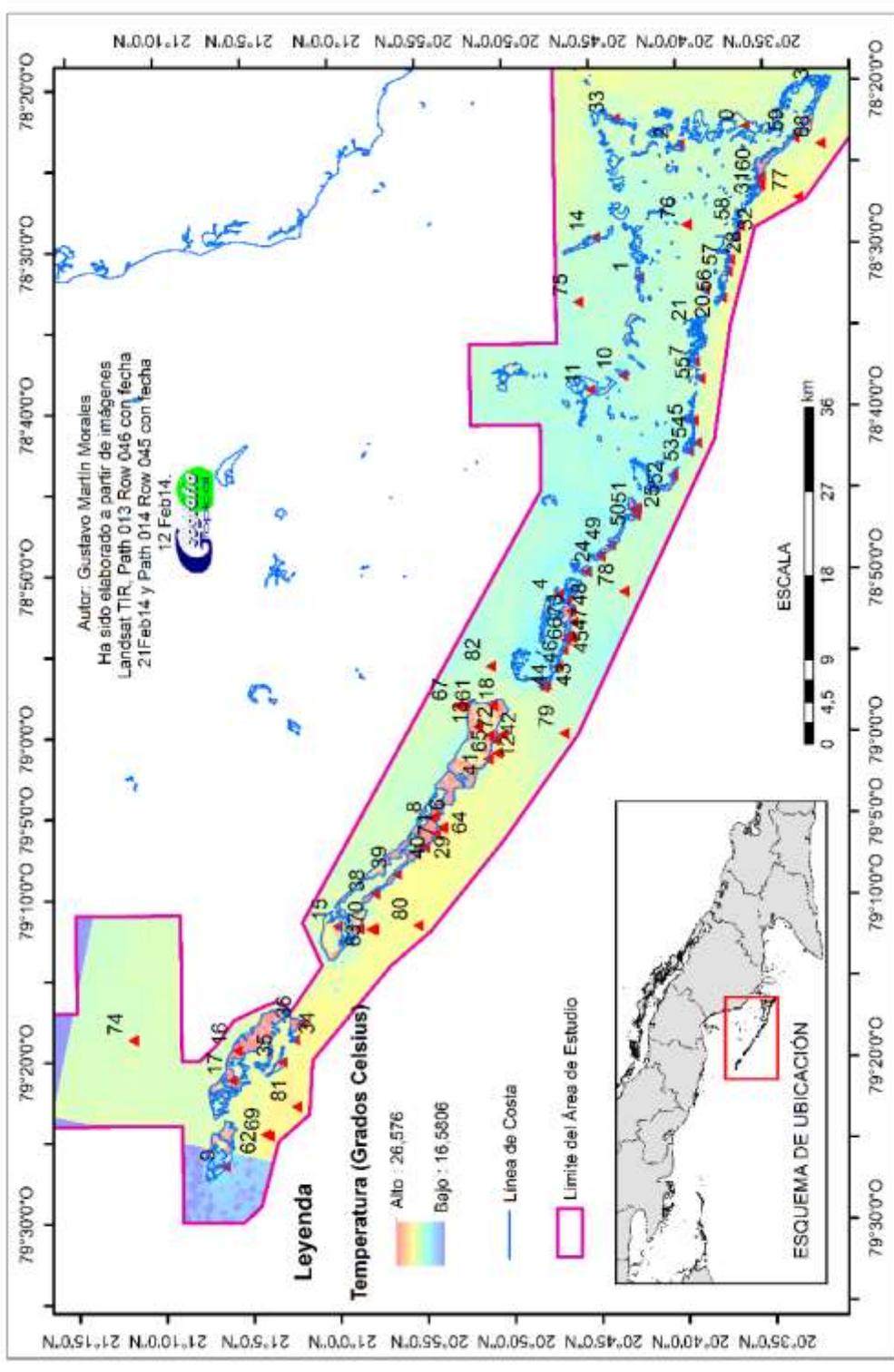
Proyecto de Investigación y Desarrollo  
 de la Universidad de Zaragoza  
 para el estudio de los impactos  
 del cambio climático en Aragón  
 (2010-2014)

Verano (27 de junio del 2014: 10:00 am)

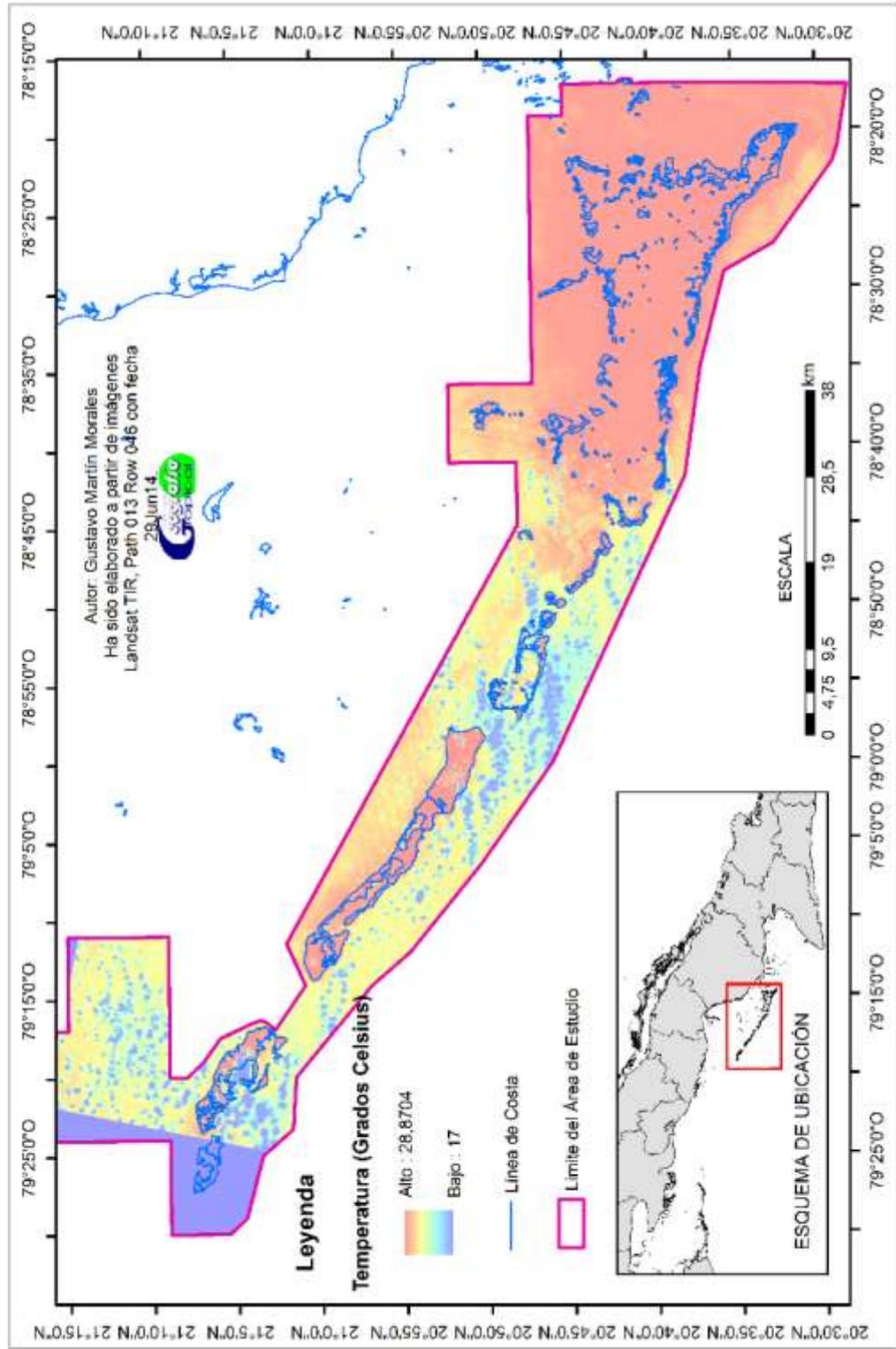




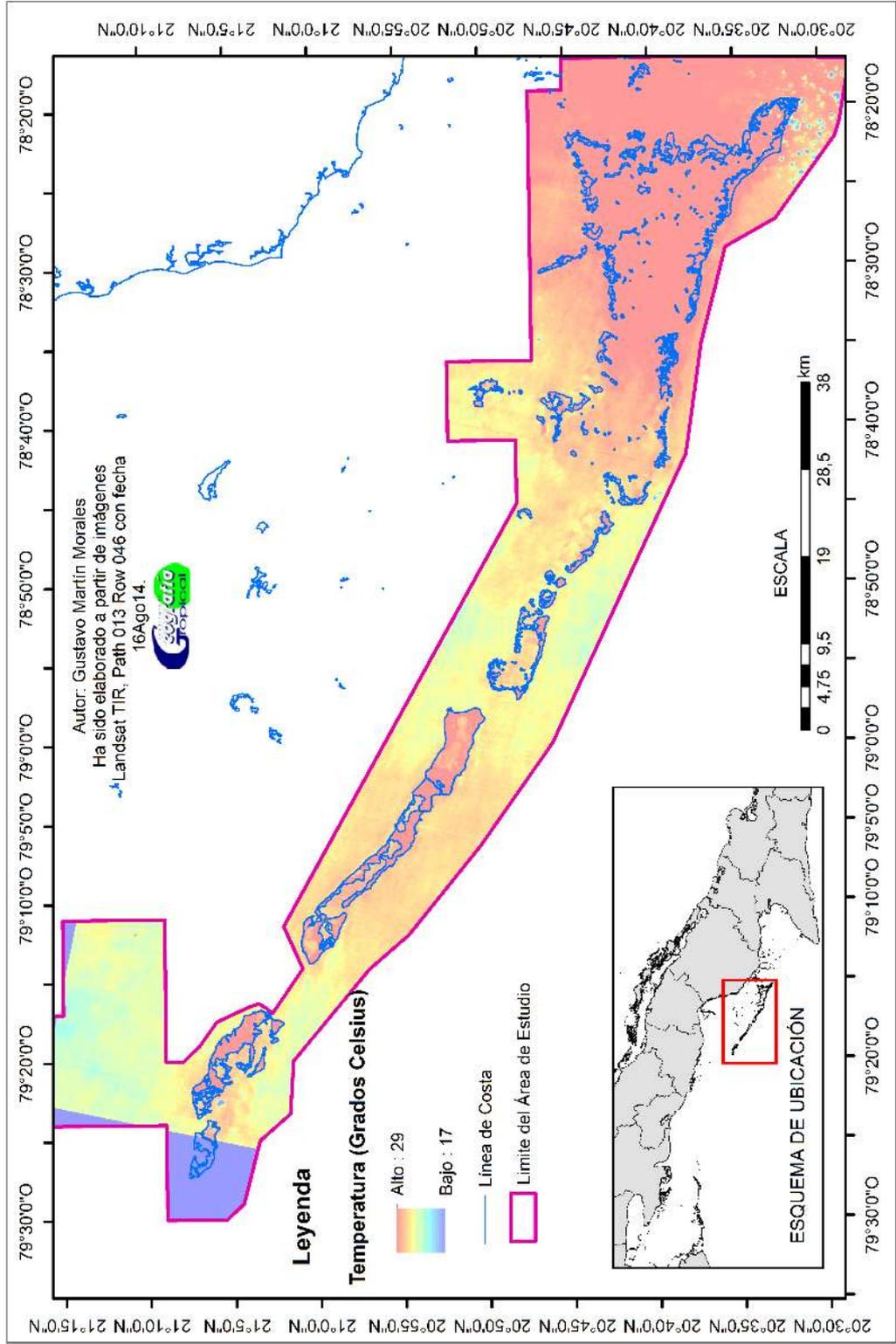
# TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA PN Jardines de la Reina (Invierno - 21 de Febrero 2014)



# TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA PN Jardines de la Reina (Verano - 29 de Junio 2014)



# TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA PN Jardines de la Reina (Verano - 16 de Agosto 2014)



## Línea base fluctuación de los cuerpos de agua

El procedimiento empleado se basó en la metodología propuesta por Almeida, I. y otros, 2015; y fue el siguiente:

1. Se seleccionaron las imágenes de acuerdo al periodo lluvioso (mayo-octubre) y periodo poco lluvioso (noviembre-abril), a partir del criterio de que las imágenes deberían tener en lo posible menos de un 10% de nubes en el área de trabajo.
2. Se calibraron radiométricamente las imágenes empleando el software SAGA.
3. Se crearon mosaicos de imágenes (Ver figura 1).
4. Se determinó el índice de NDWI para la discriminación automatizada de los cuerpos de agua.
5. Se clasificaron las coberturas de los raster y posteriormente se convirtieron a formato vectorial.
6. Se determinó el área mínima cartografiable y posteriormente se generalizaron los contornos de los cuerpos de agua.
7. Se calculó el área y el perímetro de los cuerpos de agua presentes en la escena.
8. Por último se realizó una comparación de la fluctuación (diferencias) de los cuerpos de agua en área (ha) y su perímetro (km) a partir de capas vectoriales obtenidas para los periodos escogidos poco lluvioso y lluvioso en el año hidrológico 2014.

Con el objetivo de cubrir el área de estudio para su análisis fue necesario hacer un mosaico con las imágenes multiespectrales, que cubren los territorios de los PN Ciénaga de Zapata y PN jardines de La Reina, para dos periodos (poco lluvioso y lluvioso) para ello se empleó el software libre SAGA.

Tabla - Imágenes Landsat 8 OLI del año 2014 para la determinación de la línea base.

PN Ciénaga de Zapata	PN Jardines de Reina
LC80150442014226LGN00	LC80130462014052LGN00
LC80150452014226LGN00	LC80130462014228LGN00
LC80150452014018LGN00	
LC80150442014018LGN00	

Para crear los mosaicos primeramente se le realizó a cada imagen una calibración radiométrica en el tope de la Atmosfera (TOA) empleamos para ello el algoritmo **Top of Atmosphere Reflectance** contenida en el menú **Geoprocesing/ imagery/ Landsat del software SAGA**.

El resultado del mapa de cambio en la fluctuación superficial de los cuerpos de agua, fue la representación de los polígonos de cuerpos de agua representados en 3 clases, que representan las áreas inundadas en el periodo seco y lluvioso así como las áreas que están permanentemente inundadas en ambos periodos, para cada polígono de le