

## **Anexo 1. Diseño e implementación del sistema de información (SIH) y del SIG**

### **1. Diseño e implementación del Sistema de información (SIH)**

El Sistema de información del proyecto Humedales (SIH) está insertado dentro de la plataforma INFOGEO, adecuando la gestión de la información del proyecto dentro de dos servicios web, el Sistema de Monitoreo Programático, con el objetivo de crear el flujo de intercambio de la información entre los miembros del equipo a distancia y el Repositorio de Información con el objetivo de publicar y a la vez recoger organizadamente los resultados del proyecto en INTERNET con visibilidad en la red nacional.

Para el diseño e implementación del SIH se realizaron talleres de capacitación y entrenamientos en el uso de las herramientas y aplicaciones de ambos servicios de la red.

En el Sistema de Monitoreo Programático los miembros del equipo de trabajo crearon sus secciones de trabajo, los calendarios, las carpetas entre otras aplicaciones, y comenzaron a gestionar la información del proyecto. En el momento de subir los documentos a la plataforma se llenaba el formulario o ficha de metadatos que le proporciona el sistema y éste por defecto le ponía otros metadatos que complementan el total de los mismos, por los cuales el documento puede ser recuperado rápidamente con el buscador avanzado. Además, puede dársele seguimiento a los acontecimientos durante el flujo del documento con la herramienta de noticias sobre lo nuevo que ocurre dentro del sistema y la de auto notificaciones para lo que ocurre en los sitios del SIH y por los miembros del equipo.

Los metadatos obtenidos son los siguientes:

- Autor.
- Fecha de entrada.
- Fecha de consultas.
- Fecha de modificación.
- Fecha de revisión.
- Fecha de aprobación o desaprobación.
- Versiones del documento.
- Palabras claves.
- Resumen.
- Anexos.
- Comentarios.
- Tema.

En el Repositorio de Información el jefe de proyecto luego de la aprobación del documento lo enviaba a través de la red o de forma presencial al Grupo de Información del Instituto de Geografía Tropical y éste procesaba el documento llenando la ficha de metadato que proporciona las herramientas del repositorio. Se utilizó una comunidad para el proyecto y las colecciones para organizar los documentos por temas.

Los metadatos son los siguientes:

- Community

- Collection
- Item
- Bundle
- Bitstream
- Bitstream Format

### ***Creación de las bases de datos***

La base de datos en los dos servicios que conforman el SIH se encuentra en servidores de base de datos PosGree, su creación y carga de los datos se realizó directamente por los miembros del equipo de proyecto utilizando los servicios web que sirven de interface entre el usuario y la base de datos para imprimir agilidad y facilitar el trabajo. En Sistema de monitoreo programático utilizaron el Noodle y en el Repositorio usaron el Dspace, en los que fueron capacitados durante los talleres y entrenamientos.

El indicador verificable es el Sistema de información y los metadatos de la información que tiene cargada en sus dos servicios. Ambas pueden ser consultadas en la dirección web [www.infogeo.cu](http://www.infogeo.cu), en su página de inicio se selecciona el monitoreo programático y dentro se accede a la sección de Proyecto Humedales. Se necesita clave de acceso de los miembros del equipo y también se puede consultar el repositorio de información del IGT para verificar la información y sus metadatos.

## **2. Empleo del SIG para evaluar presión y estado de los humedales**

El diseño del SIG para la evaluación ambiental integral de humedales prioritarios de Cuba, comprende cinco etapas fundamentales: organización, caracterización, construcción de la base de datos, análisis y la implementación de servicios para la diseminación de la información.

### **Etapa de Organización**

La etapa de organización define el alcance de las tareas a realizar y comprende la determinación de la política y el diseño de la SIG. Esta primera etapa concluye con la definición de la composición del equipo multidisciplinario que participará en la realización de los trabajos, el cronograma de actividades y el cálculo del presupuesto económico para la realización de los trabajos.

El SIG tendrá como objetivo fundamental el de integrar a través de la web los datos espaciales, sus metadatos; facilitando a los usuarios potenciales del sistema; la localización, identificación, selección y acceso a la misma, ya sea a través de las PC Clientes o directamente desde el servidor.

### ***Requerimiento de datos***

La información quedó estructurada en diferentes subdirectorios:

- Actualización (Actualiza); este subdirectorio contiene la información referente a fuentes de entrada de datos iniciales como: ficheros GPS, mapas topográficos y temáticos e imágenes de Teledetección.

- Base de Datos Alfanumérica (BD\_Alf); contiene la información de los atributos no espaciales que se encuentra integrada en un Sistema de Manejo de Base de Datos denominado ACCES; estructurada en dos niveles de acceso.
- Base de Datos Espacial (BD\_Esp); contiene la información de los atributos espaciales estructurados al igual que la alfanumérica en dos niveles de acceso.
- Proyectos; este subdirectorio contiene los proyectos, consultas y las validaciones realizados a partir del establecimiento de estructuras de coberturas de Tablas relacionales mediante diferentes análisis.
- Referencia Bibliográfica (BD\_Bib); contiene los documentos donde se describe la procedencia, actualidad y otros datos de interés de la información (metadatos); así como los diferentes métodos y criterios empleados para el análisis.

Entre estas herramientas utilizadas se encuentran tanto software propietario como software libre, con diferentes características y propiedades, entre los que se encuentran:

- Geoserver
- Mapserver
- GeoNetwork
- MapInfo
- ArcGis
- Quantum GIS

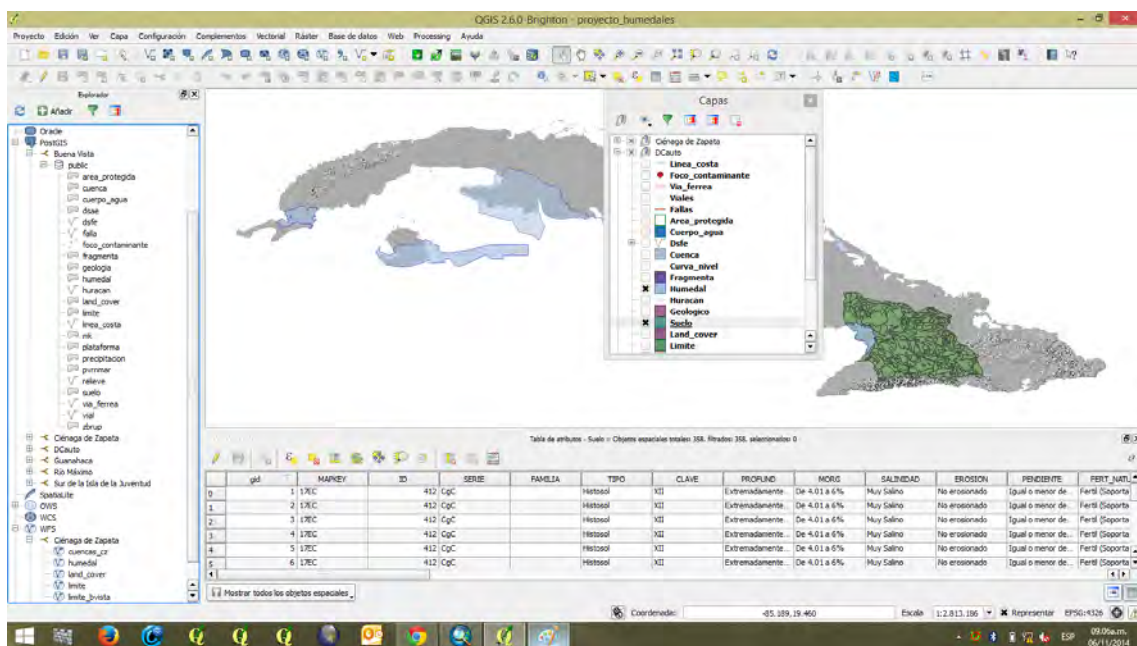


Figura 1. Acceso a geodatos WFS y BD

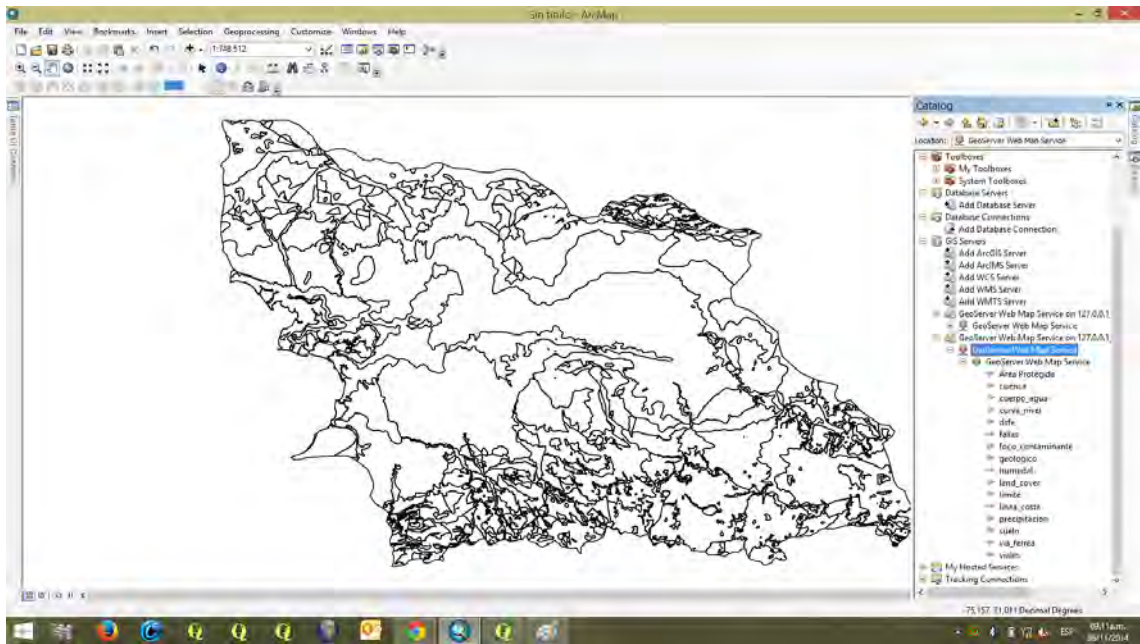


Figura 2. ArcMap acceso a servidor de mapas GeoServer WMS

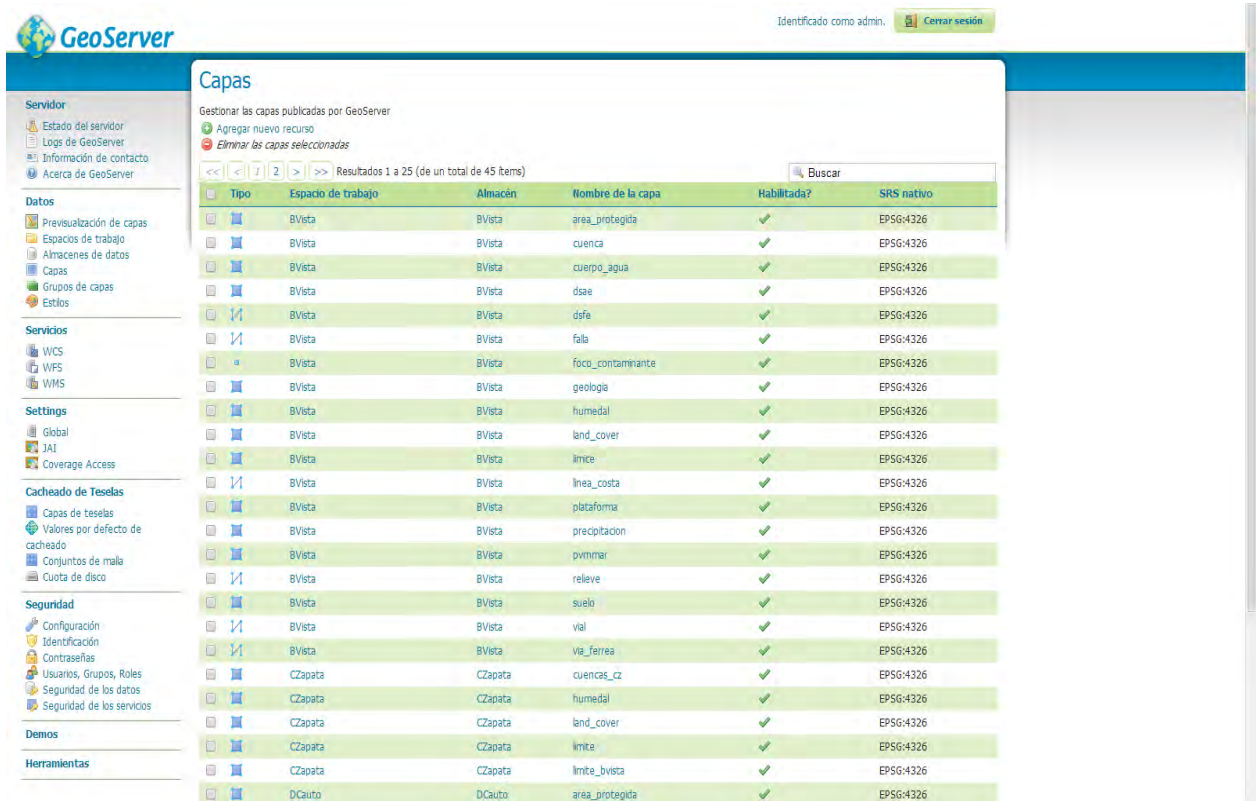


Figura 3. Imagen del Servidor de mapas GeoServer y capas disponibles

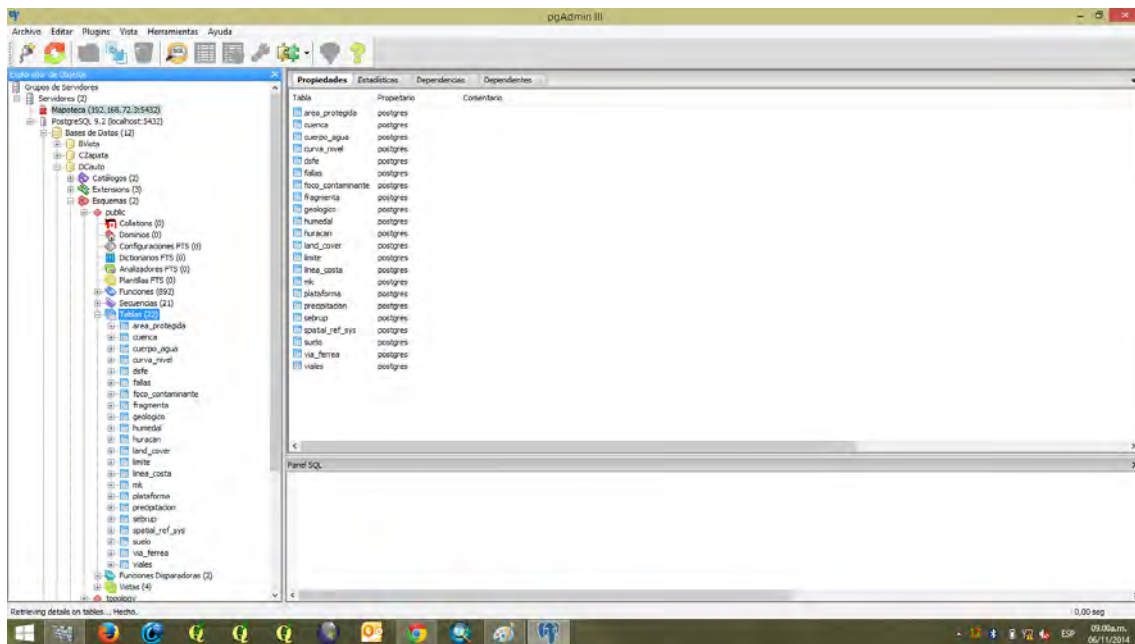


Figura 4. Servidor Gestor de BDOR muestra Geodatos almacenados

## Etapa de caracterización

Una de las etapas fundamentales en el desarrollo del Sistema es la recolección de los datos espaciales y no espaciales, provenientes de diversas fuentes. Se llevó a cabo precisamente para recopilar, actualizar, completar y evaluar la exactitud de los datos y comprendió los procesos de preparación y evaluación de la información existente, creación y actualización de la Base Cartográfica Típica Digital, la obtención de la información de las distintas fuentes de datos y la catalogación de la información espacial y no espacial.

### *Preparación y actualización de la base cartográfica digital*

La preparación y actualización de la base cartográfica digital contó de varios procesos fundamentales (*trabajos preparatorios, foto-reproducción de materiales, scanneo, rectificación de Imágenes, georreferenciación y conversión digital vectorial de información*).

#### *Conversión digital vectorial de información*

La conversión en formato digital vectorial de los elementos topográficos representados en las imágenes se realizó de acuerdo a las indicaciones siguientes:

- Los elementos lineales se convirtieron utilizando herramientas de dibujo polilíneas del software ArcGIS-10, resultando ficheros (.shp).
- Los elementos topográficos puntuales y areales, se convirtieron a formato digital vectorial utilizando igualmente las herramientas del software ArcGIS-10, según las normas y procedimientos previstos en la vice-dirección de Geomática del IGT.
- La información se almacenó por capas temáticas agrupadas según el contenido a representar en la base cartográfica digital.

### ***Recopilación, preparación y evaluación de la información existente***

La información resultante de investigaciones anteriores a recopilar aparece reflejada en forma cartográfica, estadística y bibliográfica contenidas en inventarios, informes, datos de censo, imágenes aéreas y espaciales, bases de datos y mapas que en la mayor parte de los casos se encuentra en forma análoga lo que dificulta el acceso rápido.

#### ***Inventario***

La etapa de inventario consistió en la recolección de los datos espaciales y no espaciales, que se introdujeron en el SIG. Tuvo como objetivo actualizar y llenar los posibles vacíos de información detectados en la etapa de recopilación, preparación y evaluación existente.

#### **Etapa de creación de la base de datos**

Esta etapa comprendió el diseño de la base de datos geográficas, la entrada de datos, el manejo y manipulación de los datos y la catalogación de la información.

#### ***Diseño de la base de datos geográficas***

Para el diseño de la base de datos se definieron las capas, los tipos de objetos, código y valor y significado del atributo, periodo de actualización.

#### ***Entrada de los datos***

La entrada del dato contó de varios subprocesos: entrada del atributo espacial; edición y creación de topología; entrada del atributo no espacial y su asociación al espacial; catalogación de los datos.

#### **Etapa de análisis**

Comprendió las sub-etapas de definición de criterios de decisión y de análisis (*aplicación de operadores*).

#### ***Definición de criterios de decisión***

Esta tarea se realizó con la participación de un grupo multidisciplinario de especialistas y decisores, en interés de definir los distintos criterios que se requieren en el proceso de análisis de los datos.

#### ***Análisis de los datos***

En el proceso de análisis se aplicaron los distintos operadores analíticos a partir de los criterios de decisión definidos para cada caso en el proceso anterior. En este sentido fueron el espacial y el temático.

***Paso 1.*** Captura de los datos de entrada al SIG. Los datos son entrados al SIG en dos tipos de formato: formato vectorial y formato *raster*. A los mapas en formato vectorial

se le realizó un análisis topológico, con la finalidad de enmendar los errores de geometría en la representación cartográfica.

**Paso 2.** Determinación del nivel jerárquico de las variables. Para ello se asignan valores o pesos a las clases que componen los mapas *raster* (1-6), con base en el orden de importancia o preferencia. Para ello emplean los métodos de grupo nominal, como el Delphi, el cual se aplicó a través de una encuesta realizada a un grupo de experto.

**Paso 3.** Proceso de estandarización de los datos. Se asignaron valores a los indicadores de cada criterio entre 1 y 10 con el objetivo de estandarizar los datos según la importancia que cada criterio tiene en el análisis. Para ello se utilizó el criterio de expertos, otorgándose el menor o mayor valor, en dependencia de la importancia o nivel de significación del fenómeno estudiado.

**Paso 4.** Normalización de los criterios. Consistió en ponderar cada atributo empleado en el análisis, evaluando primeramente el nivel de importancia que representa cada criterio definiendo la posición jerárquica de cada uno. Para ello se utilizó también del método Delphi.

Los pesos de los criterios fueron calculados aplicando el método de clasificación conocido como método de la suma que consiste en calcular el peso de los atributos, de acuerdo al orden de jerarquía y la cantidad de criterios considerados en el análisis, los cuales se calculan de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$W = \frac{(N - R) + 1}{\sum (N - R) + 1}$$

W = Peso ponderado

N: número de atributos considerados en el análisis

R: posición de jerarquía del atributo

**Paso 5.** Análisis espacial de la información (Algebra de mapas). Con la realización de los pasos anteriores queda preparada la base de datos para el análisis espacial, donde se emplea el álgebra de mapa para efectuar la suma lineal ponderada de los criterios (*Scoring*), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$(\text{Peso } 1 * \text{grid}1) + (\text{Peso } 2 * \text{grid}2) + \dots + (\text{Peso } N * \text{grid}N)$$

La misma consiste en multiplicar los valores contenidos en cada celda de los mapas en formato *raster* para cada criterio, por los valores de los pesos ponderados obtenidos a partir de la aplicación de los métodos de ponderación de atributos empleados. Como resultado se obtendrá un mapa que contiene la suma de valores ponderados.

**Paso 6.** Reclasificación del mapa resultante por rango de valores para obtener un mapa final. Consiste en simplificar clasificando los valores ponderados el cual tiene muchas clases, en 3 clases o intervalos. Los rangos para la reclasificación se escogen de acuerdo a un criterio estadístico que puede ser la fórmula de recorrido  $R = \text{Val. máx.} - \text{Val. mín.} / \text{el número de clases}$ , de esta manera se obtiene un mapa de presión y otro de estado, dividido en 3 categorías de clases (alto medio y bajo).

## 2.1 Criterios empleados para evaluar presiones

Uso de la tierra (prioridad 1)		Especies invasoras (prioridad 2)	
Variables	Pesos	Variables	Pesos
Cultivos agrícolas	10	Alto	10
Embalses y canales	10	Medio	5
Viales	8	Bajo	1
Asentamientos poblacionales	8	Fuentes contaminantes (prioridad 3)	
Instalaciones industriales	6	Variables	Pesos
Zonas turísticas	5	Alto	10
Áreas forestales	1	Medio	5
		Bajo	1
		Ocurrencia incendios forestales (prioridad 4)	
		Variables	Pesos
		Alto	10
		Medio	5
		Bajo	1
		Actividad pesquera (prioridad 5)	
		Variables	Pesos
		Esfuerzo pesquero alto	10
		Medio	5
		Bajo	1
		Incremento del nivel medio del mar (nmm) (prioridad 6)	
		Variables	Pesos
		2050 (27 cm)	8
		2100 (85 cm)	10

### Comportamiento general de los tipos de presiones en cada sitio

	Uso de la tierra	Especies invasoras	Fuentes contaminantes	Ocurrencia incendios forestales	Actividad pesquera	Incremento del nivel mar
Guanahacabibes	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo	Medio
Ciénaga Lanier	Bajo	Medio	Medio	Medio	Bajo	Medio
Ciénaga Zapata	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio
Buena Vista	Alto	Medio	Medio	Bajo	Medio	Medio
Norte de Ciego	Alto	Medio	Medio	Bajo	Medio	Medio
Río Máximo	Alto	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Delta Cauto	Alto	Medio	Alto	Bajo	Bajo	Medio

1.1-Cálculo de los pesos para evaluar presiones, teniendo en cuenta el nivel de prioridad, empleando el método de clasificación conocido como método de la suma:

$$W = \frac{(N - R) + 1}{\sum (N - R) + 1}$$



W= Peso  
 N= Número de criterios  
 R= Nivel jerárquico

Especies invasoras	Fuentes contaminantes	Actividad pesquera	Incendios forestales	Uso de la tierra
$P_w=(6-1)+1/21$ $P_w=6/21$ $P_w= 0.29$	$P_w=(6-2)+1/21$ $P_w=5/21$ $P_w= 0,23$	$P_w=(6-3)+1/21$ $P_w=4/21$ $P_w= 0.19$	$P_w=(6-4)+1/21$ $P_w=3/21$ $P_w= 0.14$	$P_w=(6-5)+1/21$ $P_w=2/21$ $P_w= 0.09$
<b>Incremento del nivel medio del mar</b>				
$P_w=(6-6)+1/21$ $P_w=1/21$ $P_w= 0.06$				

Con el empleo del Algebra de mapa se realiza la suma lineal ponderada (scoring) que consiste en multiplicar cada peso por la grid que conforman cada mapas de los criterios. (Peso 1 \* grid1)+ (Peso 2 \* grid2) + ... (Peso N \* gridN)  
 (0.29\*Especies invasoras) + (0.23\*Fuentes contaminantes)+(0.19\*Actividad pesquera) + (0.14\* Incendios forestales) + (0.09 \*Uso de la tierra) + (0.06 \*Incremento del nivel medio del mar)

El mapa resultante se reclasifica empleando la fórmula de recorrido para obtener un mapa final por rango de valores (Alto, Medio, Bajo) (Figura 1)

$$R= (V.máx -V.mín ) / \text{Rango de valores (3)}$$

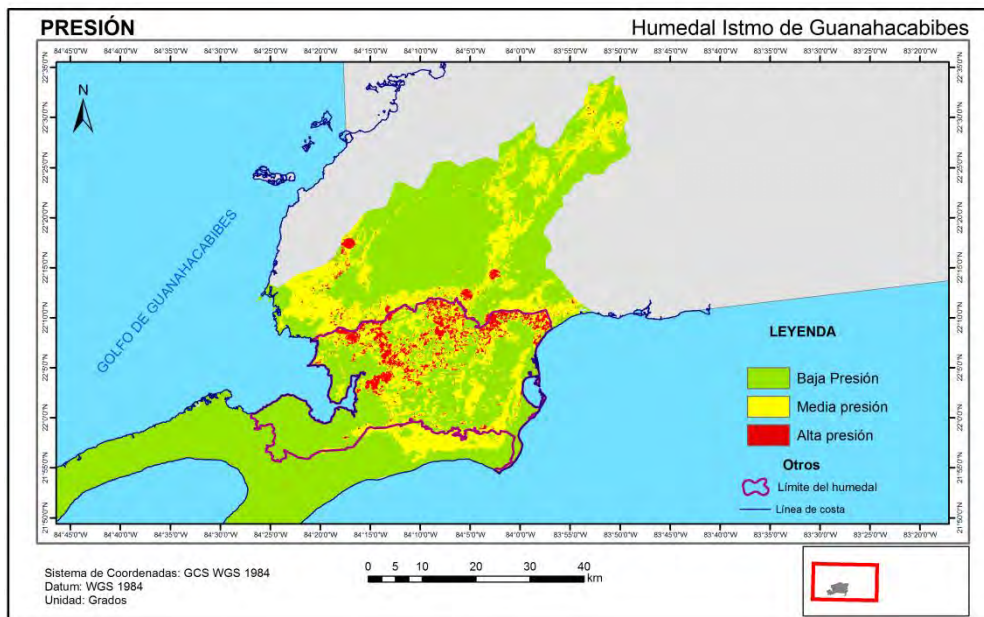


Figura 5. Mapa de presiones del humedal Istmo de Guanahacabibes.

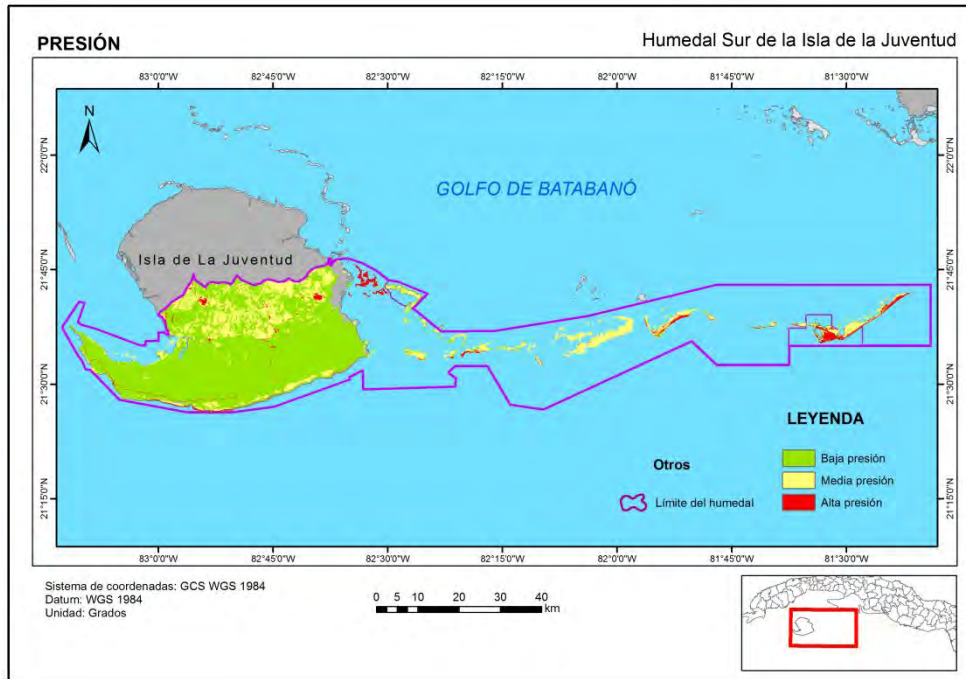


Figura 6. Mapa de presiones del humedal Sur de la Isla de la Juventud.

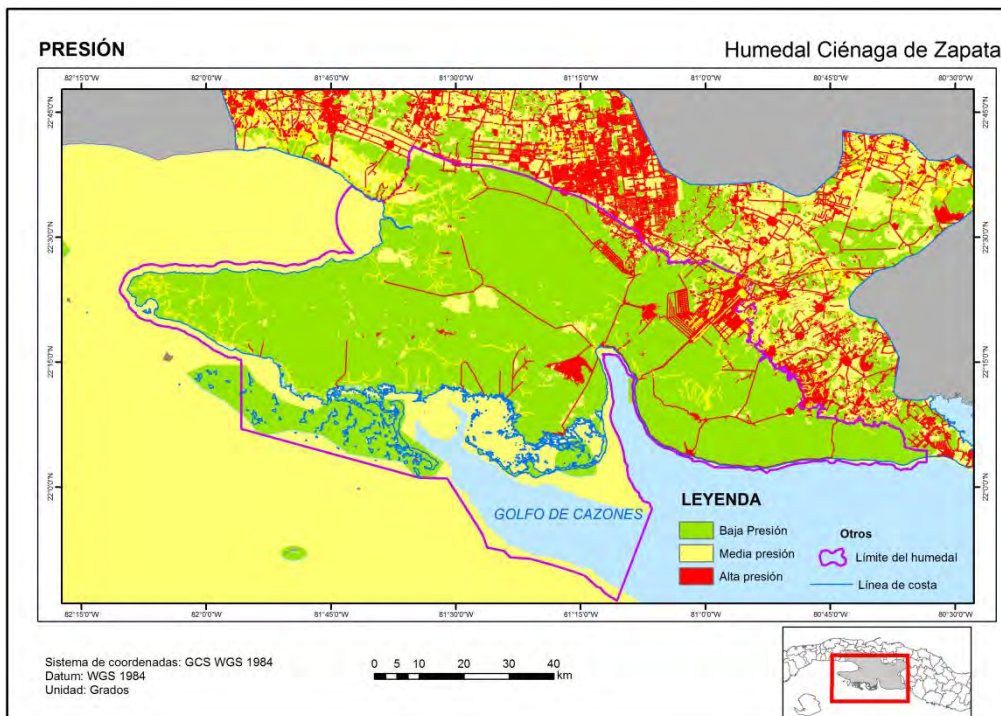


Figura 7. Mapa de presiones del humedal Ciénaga de Zapata.

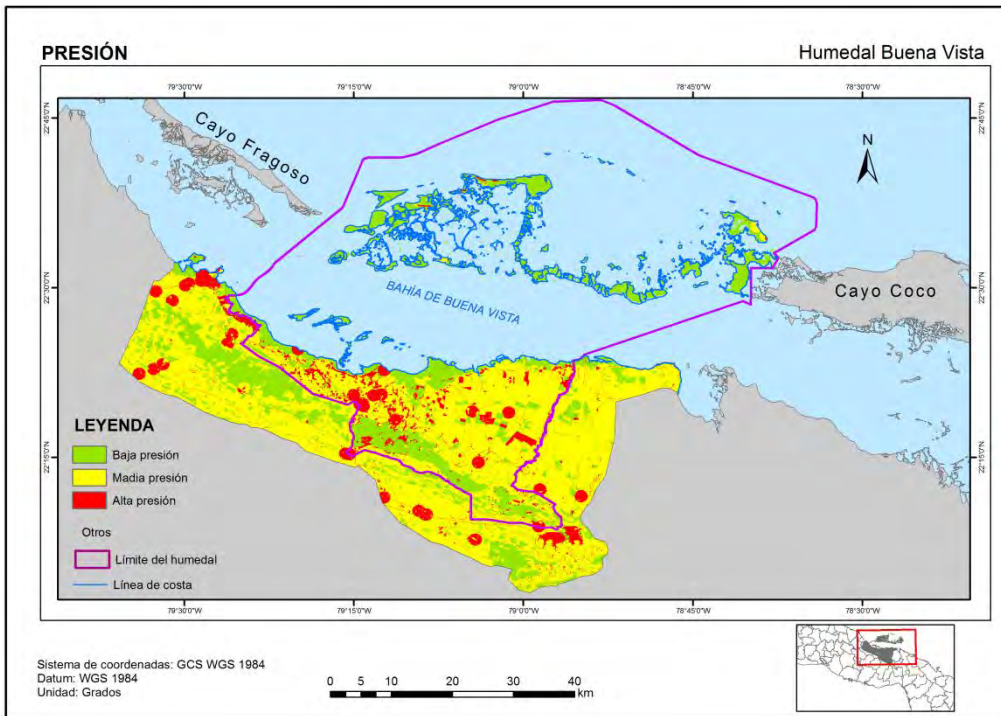


Figura 8. Mapa de presiones del humedal Buena Vista.

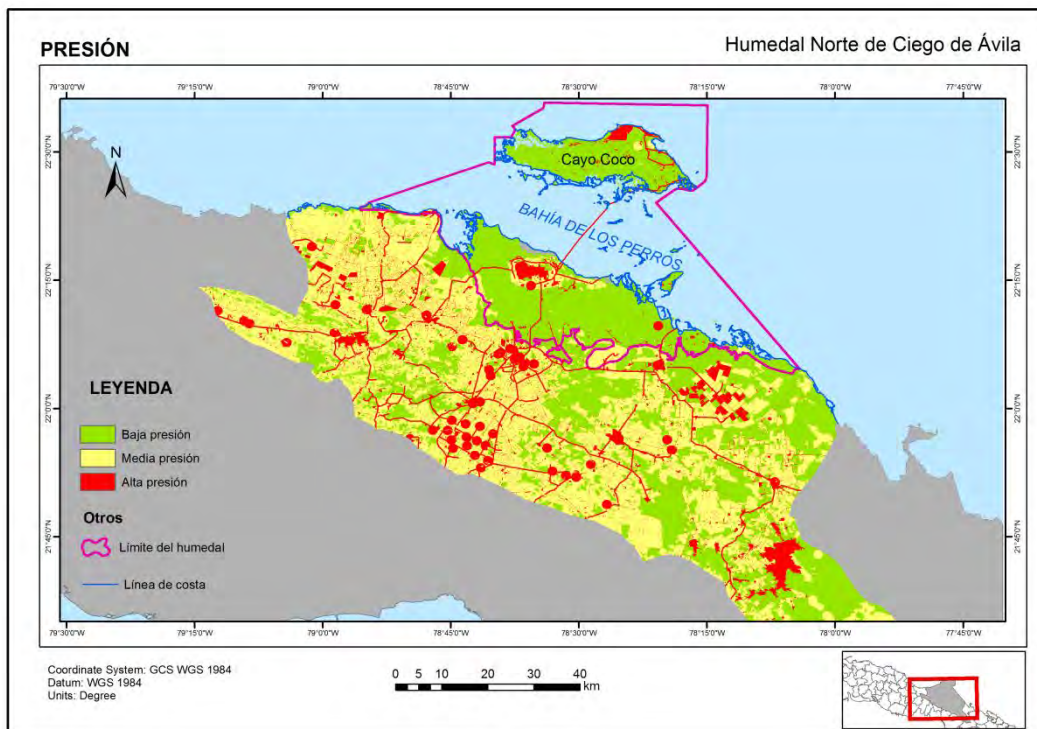


Figura 9. Mapa de presiones del humedal Norte de Ciego de Ávila.

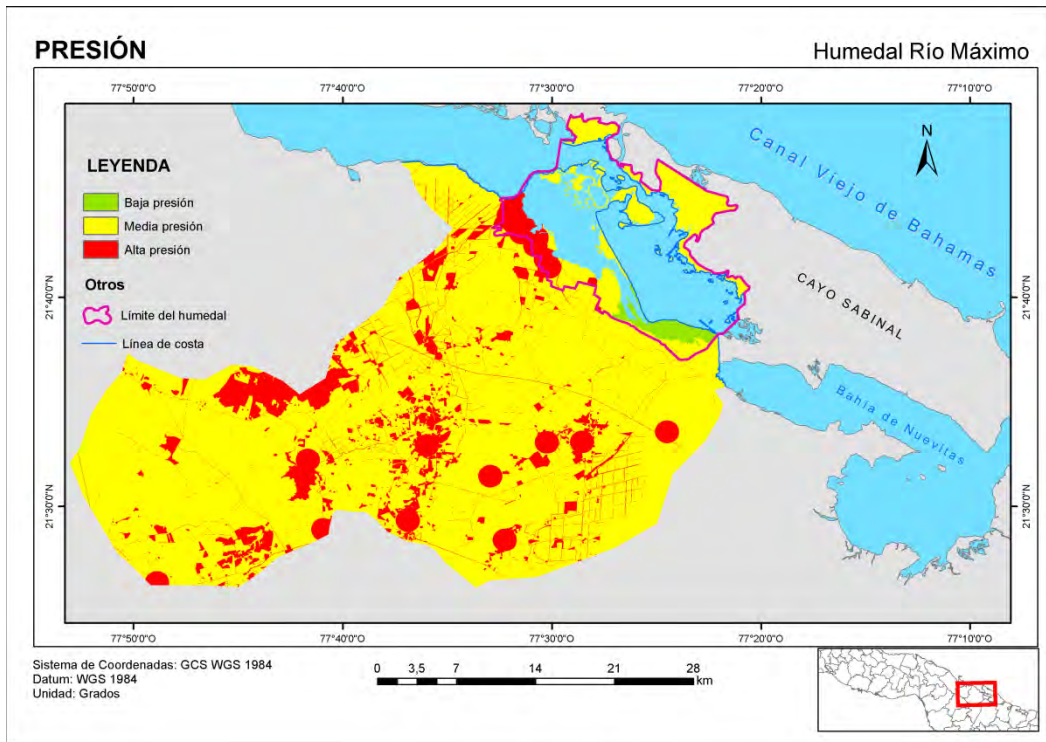


Figura 10. Mapa de presiones del humedal Río Máximo.

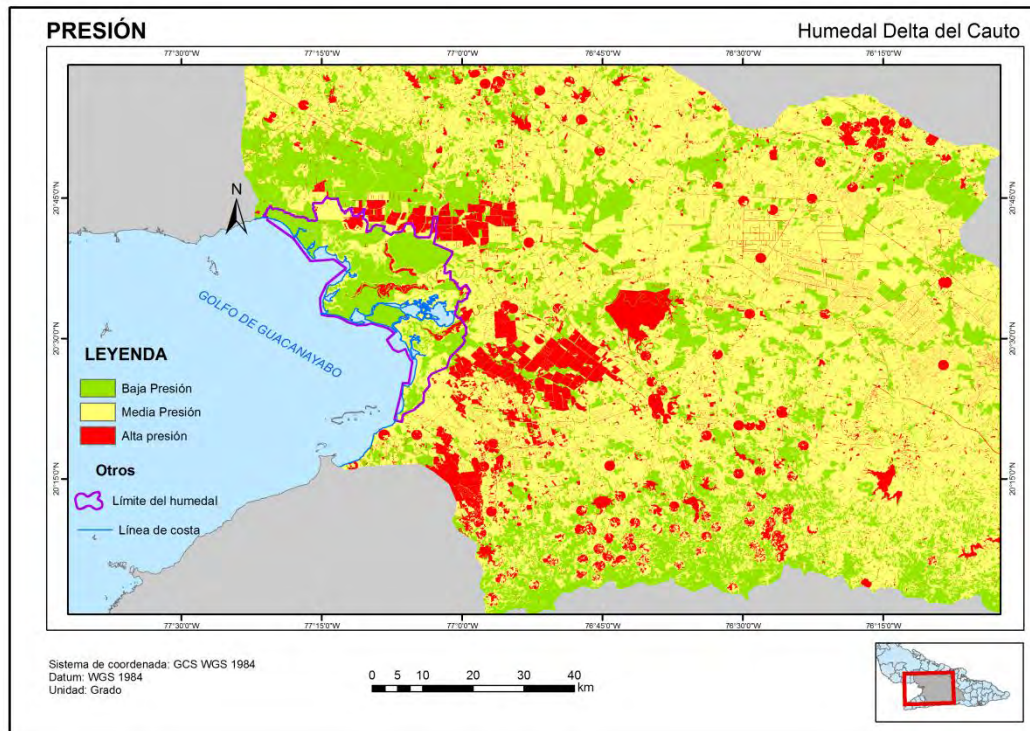


Figura 11. Mapa de presiones del humedal Delta del Cauto.

## 2.2 Criterios empleados para evaluar estado del ecosistema

Fragmentación (prioridad 1)		Existencias de áreas protegidas (prioridad 2)	
VARIABLES	Pesos	VARIABLES	Pesos
Sin vegetación natural	10	Áreas no protegidas	10
De 100-1000	8	APRM	5
De 10-100	4	Las otras categorías de AP	1
Menor de 10	1		
Actividad turística (prioridad 3)		Especies invasoras (prioridad 4)	
VARIABLES	Pesos	VARIABLES	Pesos
Alta presencia	10	Alta presencia	10
Mediana presencia	5	Mediana presencia	5
Baja presencia	1	Baja presencia	1
Áreas afectadas por incendios (prioridad 5)		Actividad pesquera (prioridad 6)	
VARIABLES	Pesos	VARIABLES	Pesos
Áreas muy afectadas	10	Áreas de intensa pesca	10
Mediana afectación	5	Áreas de poca pesca	5
Áreas no afectadas	1	Áreas de no pesca	1

### Comportamiento general del estado en cada sitio

	Fragmentación	Áreas protegidas	Actividad turística	Afectaciones incendios	Actividad pesquera
Guanahacabibes	Baja	Bajo	Baja	Baja	Baja
Ciénaga Lanier	Baja	Medio	Baja	Baja	Baja
Ciénaga Zapata	Media	Alta	Media	Alta	Media
Buena Vista	Media	Media	Alta	Baja	Media
Norte de Ciego	Media	Media	Alta	Baja	Media
Río Máximo	Media	Alta	Media	Baja	Media
Delta Cauto	Media	Alta	Baja	Baja	Baja

2.1 Cálculo de los pesos para evaluar Estado, teniendo en cuenta el nivel de prioridad, emperando el método de clasificación conocido como método de la suma:

$$W = \frac{(N - R) + 1}{\sum (N - R) + 1}$$

W= Peso

N= Numero de criterios

R= Nivel jerárquico

Fragmentación	Existencias de áreas protegidas	Actividad turística	Especies invasoras	Áreas afectadas por incendios
$P_w=(6-1)+1/21$ $P_w=6/21$ $P_w= 0.29$	$P_w=(6-2)+1/21$ $P_w=5/21$ $P_w= 0,23$	$P_w=(6-3)+1/21$ $P_w=4/21$ $P_w= 0.19$	$P_w=(6-4)+1/21$ $P_w=3/21$ $P_w= 0.14$	$P_w=(6-5)+1/21$ $P_w=2/21$ $P_w= 0.09$
Actividad pesquera				
$P_w=(6-6)+1/21$ $P_w=1/21$ $P_w= 0.06$				

Con el empleo del Algebra de mapa se realiza la suma lineal ponderada (scoring) que consiste en multiplicar cada peso por la grid que conforman cada mapas de los criterios.  
 $(\text{Peso } 1 * \text{grid}1) + (\text{Peso } 2 * \text{grid}2) + \dots (\text{Peso } N * \text{grid}N)$   
 $(0.29 * \text{Fragmentación}) + (0.23 * \text{Existencias de áreas protegidas}) + (0.19 * \text{Actividad turística}) + (0.14 * \text{Especies invasoras}) + (0.09 * \text{Áreas afectadas por incendios}) + (0.06 * \text{Actividad pesquera})$

El mapa resultante se reclasifica empleando la fórmula de recorrido, para obtener un mapa final por rango de valores (Bueno regular y malo)

$$R = (V.\text{máx} - V.\text{mín}) / \text{Rango de valores (3)}$$

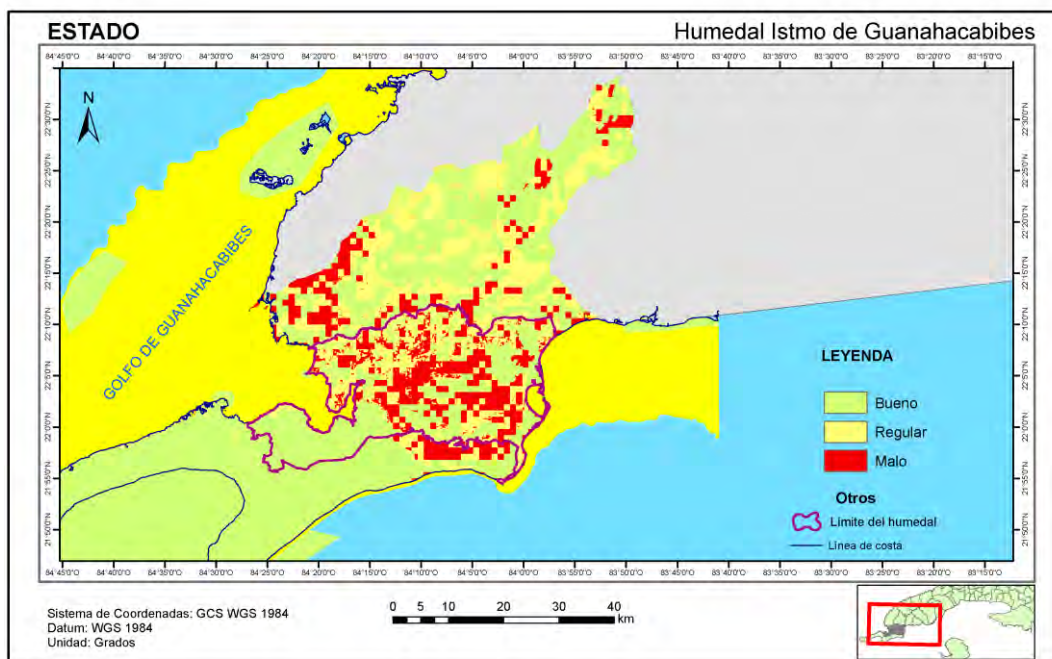


Figura 12. Mapa de estado del humedal Istmo de Guanahacabibes.

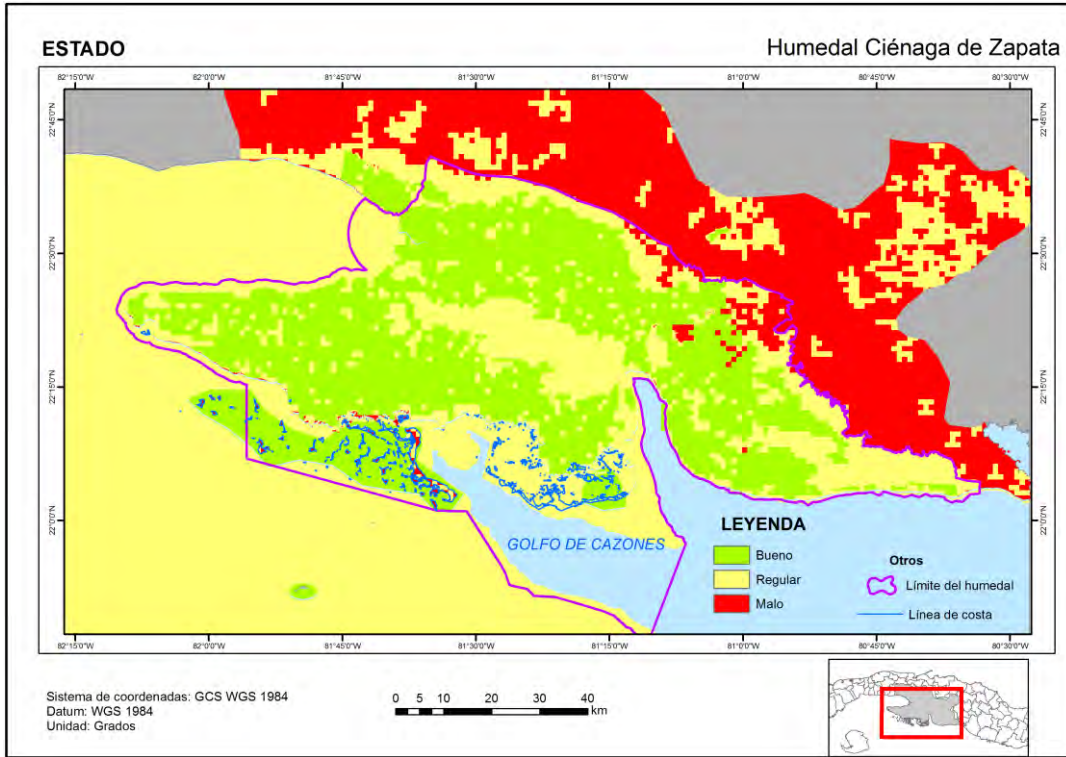


Figura 13. Mapa de estado del humedal Ciénaga de Zapata.

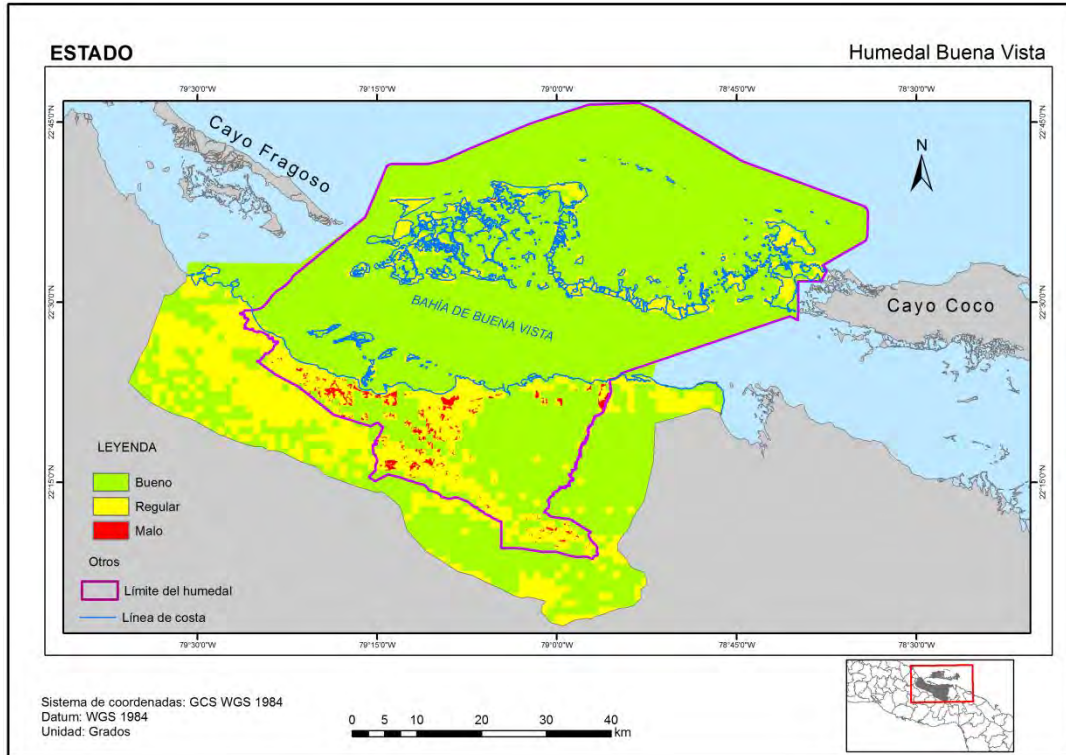


Figura 13. Mapa de estado del humedal Buena Vista.

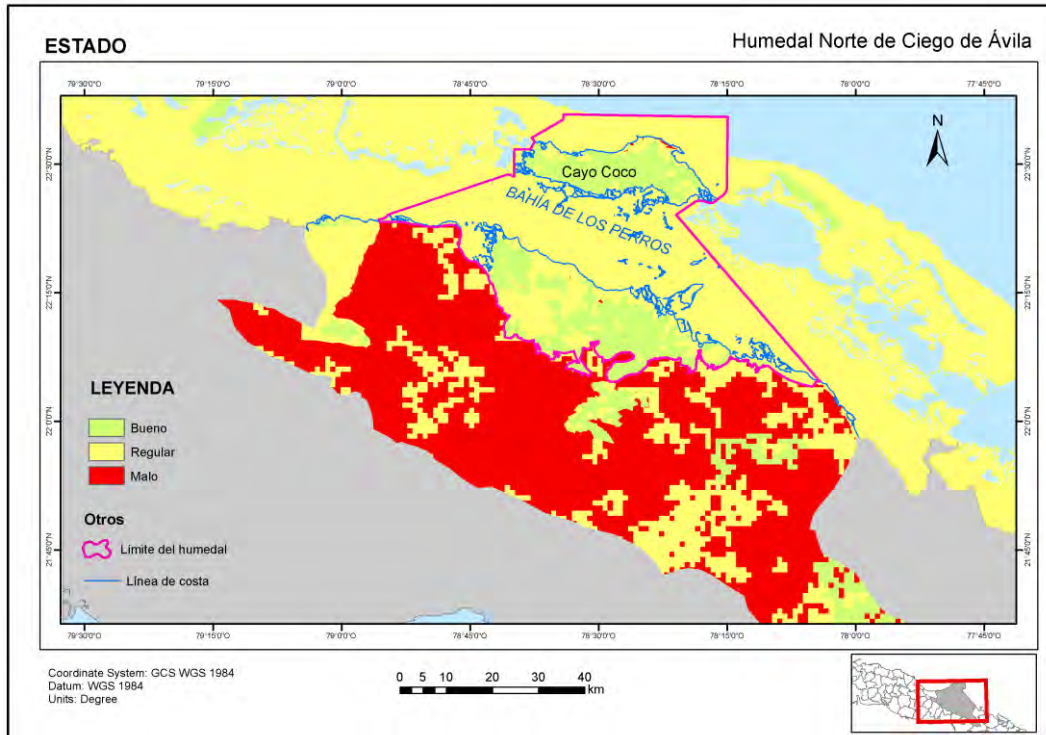


Figura 14. Mapa de estado del humedal Norte de Ciego de Ávila.

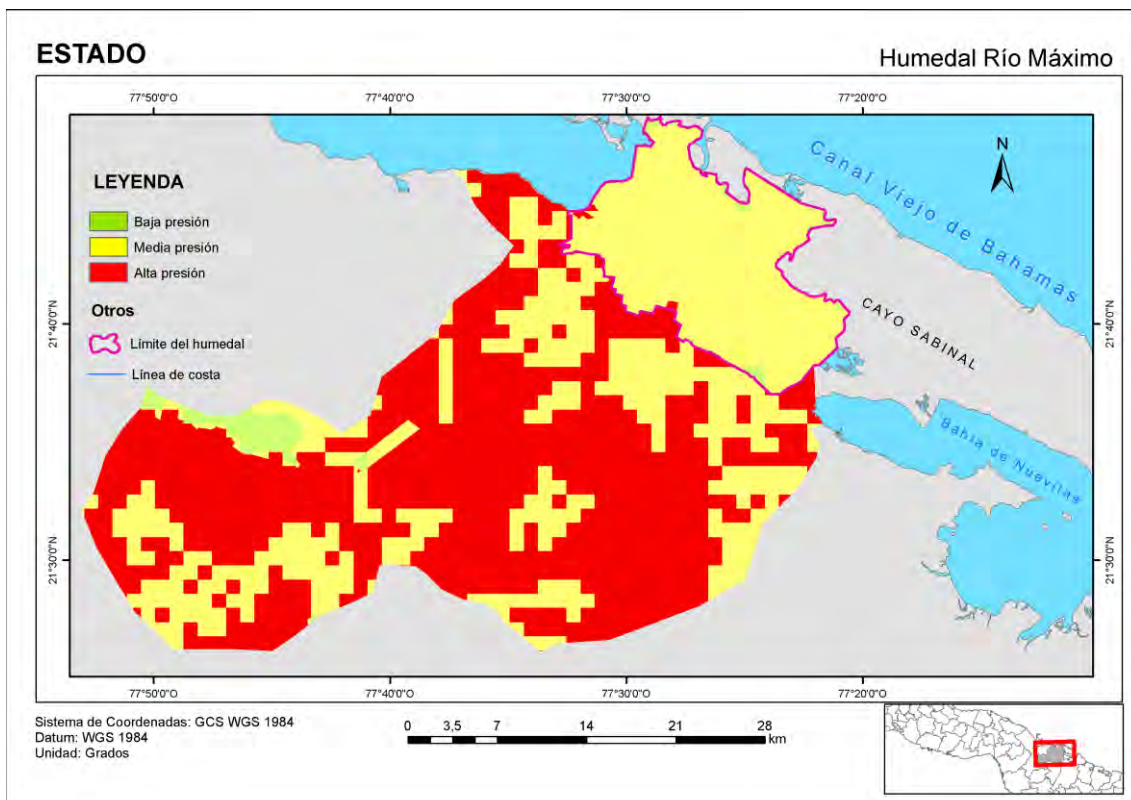
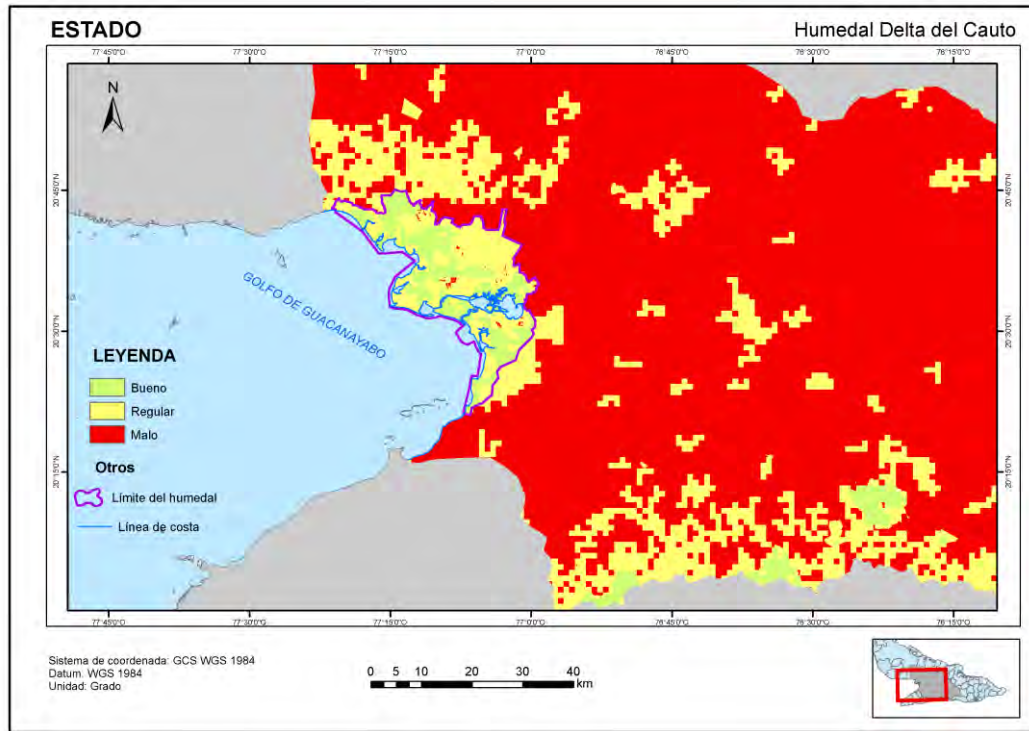


Figura 15. Mapa de estado del humedal Río Mágimo.





**Figura 12. Mapa de estado del humedal Delta del Cauto**