

Metodología para monitoreo de la recuperación del manglar en la desembocadura del río San Cristóbal

Methodology for the monitoring of the mangrove recovery in the mouth of the San Cristobal river

Frank González Otero¹

¹Máster en Ciencias, Primer Especialista de Catastro e Información Dirección Provincial de Planificación Física de Artemisa. Dirección Provincial de Planificación Física Artemisa. Correo electrónico: frank.otero@gobart.gob.cu

Recibido: 14 de febrero de 2018.

Aprobado: 3 de marzo de 2018.

RESUMEN

El presente trabajo consistió en diseñar una metodología que permita el seguimiento de la recuperación del ecosistema manglar, ante los nuevos escenarios del cambio climático, con un sistema de información geográfica de monitoreo y actualización, desde la desembocadura del río San Cristóbal hasta el río Los Colorados, debido al deterioro de una franja del ecosistema de manglar en la zona sur del municipio San Cristóbal, provincia Artemisa. El área objeto de estudio abarcó 1582.59 ha de manglar al sur del municipio San Cristóbal que fue objeto de mortalidad masiva por anoxia tras el paso de huracanes. El estudio se desarrolló en tres momentos fundamentales del trabajo: Diagnóstico biofísico del ecosistema; análisis de riesgo-vulnerabilidad y adaptación con vistas a la recuperación del ecosistema con gestión integrada; y aplicación de la metodología a partir de su adaptación y adecuación, al sector costero afectado, tanto por factores naturales como antrópicos. Se definieron acciones se combinaron algunas técnicas avanzadas que componen el campo de la Geomática Aplicada, empleadas en el proceso de manejo de análisis de riesgos con gestión integrada en zonas costeras.

Palabras clave: cambios climáticos, ecosistema manglar, gestión integrada, rehabilitación, sistema de información geográfica.

ABSTRACT

The present work consisted of designing a methodology that allows the continues of recovery of the mangrove ecosystem, in the face of the new scenarios of climate change, with a geographic information system for monitoring and updating, from the mouth of the San Cristóbal River to the Los Colorados River, due to the deterioration of a strip of the mangrove ecosystem in the south zone of San Cristóbal municipality, Artemisa province. The area under study covered 1582.59 hectares of mangrove forest south of the municipality of San Cristóbal, which was subjected to massive mortality due to anoxia after the passage of hurricanes. The study was developed in three fundamental moments of the work: Biophysical diagnosis of the ecosystem; analysis of risk-vulnerability and adaptation with a view to the recovery of the ecosystem with integrated management; and application of the methodology from its adaptation and adaptation, to the coastal sector, seriously affected, both by natural and anthropic factors. Action plans and development strategies were defined and some advanced techniques that make up the field of Applied Geomatics were combined, obtaining different thematic layers of the mangrove forest vegetation, used in the risk analysis management process with integrated management in Coast zones.

Keywords: climatic changes, geographic information system, integrated management, mangrove ecosystem, rehabilitation.

INTRODUCCIÓN

Las múltiples y complejas interacciones que actúan entre la naturaleza y la sociedad en los ecosistemas costeros y en las zonas de la plataforma marina insular desembocarán gradualmente en el incremento de la fragilidad y vulnerabilidad de dichos ecosistemas, manifestándose este fenómeno con mayor fuerza en el grupo de las pequeñas y medianas islas, dando lugar a la variabilidad de los factores ambientales y climáticos que regulan el equilibrio de los ecosistemas insulares (Planos, 2014).

Como país tropical, los ecosistemas costeros y marinos cubanos tienen un elevado valor para la comunidad científica internacional que estudia e investiga de forma sistemática el estado de conservación y deterioro de los ecosistemas correspondientes, ya que hoy en día las áreas costeras del planeta albergan dos tercios de la población mundial y se observa una sobreexplotación de sus recursos naturales. Los asentamientos humanos en estos territorios se caracterizan por una elevada densidad humana que, con sus necesidades urgentes de desarrollo socioeconómico, constituyen un factor creciente de presión ambiental que se manifiesta en la explotación excesiva de los recursos naturales costeros, en las agresiones por contaminación provocada por los residuos y desechos industriales, domésticos y agrícolas, sin contar la actividad del desarrollo turístico, lo cual traería consecuencias negativas sobre el entorno natural y de hecho, la conservación de la línea costera (Menéndez, 2013).

Los manglares ocupan un área aproximada de 5647 km² en todo el país, equivalente al 5,1 % el territorio cubano. El estado de deterioro en que se encuentra esta vegetación en Cuba, requiere especial atención; atendiendo a las características del archipiélago cubano (Rodríguez, Samón *et al.*, 2014; citada por Rodríguez *et al.*, 2015).

Se estima que en Cuba más del 30% de los manglares han sido afectados por impactos naturales y antropogénicos. Los impactos naturales son en general puntuales y poco extendidos, aunque en los últimos años han tenido significativa incidencia. Las causas más comunes de impacto son: erosión costera y desecación de lagunas costeras; acumulación de arenas sobre las raíces aéreas y neumatóforos; ciclones y huracanes; aridez (Menéndez, 2013; 2015).

Los manglares protegen las zonas costeras frente a tormentas y oleajes, los productos del bosque proporcionan a las comunidades locales una red de seguridad alimentaria, cuando las variaciones climáticas dañan la agricultura, así también, los bosques regulan la calidad del agua y el flujo de los ríos.

En Cuba muchos han sido los autores que han abordado el tema de la restauración y rehabilitación en los últimos tiempos, Matos y Ballate (2006) propusieron una metodología de restauración general de ecosistemas degradados, la que fue adaptada a ecosistemas costeros por Baigorria y Rodríguez (2008); así como se han realizado estudios en ecosistemas de manglar por parte del Centro Nacional de Biodiversidades del Instituto de Ecología y Sistemática (Menéndez, 2006; 2013; 2015).

El ascenso del nivel medio del mar es uno de los principales peligros para el Archipiélago cubano por el CC (0.27m. para el 2050 y 0.85 m. para el 2100) (Planos *et al.*, 2013), y constituye una preocupación del más alto nivel del país teniendo en cuenta los impactos a: la población y asentamientos humanos, ecosistemas costeros, infraestructura económica y social. las actividades económicas, así como la funcionalidad del territorio.

Las tormentas ciclónicas ocurren en la región del Caribe y en el Golfo de México entre los meses de julio a noviembre, con raras excepciones fuera de esta temporada. Estas tormentas generan vientos sostenidos de gran intensidad, más aún si son huracanes (más de 119 Km. / hr). Los manglares son muy susceptibles a este tipo de evento meteorológico por su posición geográfica, que los sitúan como la primera barrera de choque y partiendo del hecho de lo poco profundo de su sistema radical, el sustrato es muy propenso a la erosión por el oleaje y el viento. Las tormentas y el oleaje provocado por éstas, acarrea hacia el manglar cienos y arena que, al sedimentarse pueden obstruir el intercambio de gases entre las raíces y la atmósfera, lo cual provoca la muerte de los árboles luego de un período de pocas semanas.

La restricción del flujo de las aguas causa el aumento de las salinidades provocando la muerte del mangle. Situación similar se produjo en el área objeto de estudio en este trabajo, una extensa franja de manglar al sur del municipio San Cristóbal que fue objeto de mortalidad masiva por anoxia tras el paso de los huracanes Gustav e Ike en el año 2008, con solo 30 días de diferencia entre ellos.

Actualmente las nuevas tecnologías, entre ellas: la Percepción Remota, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), la Cartografía Digital, la Fotogrametría Digital y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son importantes herramientas en la realización de estudios relativos a la evaluación, observación, monitoreo y cartografiado de los recursos naturales, debido a la gran cantidad de información *georreferenciada* que pueden generar. En el caso de los SIG, su potencialidad de manejo, almacenamiento y análisis de la *geoinformación*, permite interrelacionar espacialmente aspectos ambientales, socioeconómicos y físicos y representar los resultados cartográficamente.

En la tarea VIDA, presentada por el CITMA (Pérez, 2017), aparece en la primera Tarea: «Identificar y acometer acciones y proyectos de adaptación al cambio climático, de carácter integral y progresivos, necesarios para reducir la vulnerabilidad existente en las 15 zonas identificadas como prioritizadas, considerando en el orden de actuación a la población amenazada, su seguridad física y alimentaria y el desarrollo del turismo». El estado actual de conservación (salud) de estos bosques de mangle se puede utilizar como un criterio para pronosticar su desenvolvimiento futuro ante la elevación del nivel del mar. En la medida de que el bosque está más sano, mayor será su resiliencia y, en consecuencia, su capacidad como protector de la línea de costa, según lo planteado por González y col. (2015) y por Iturralsdes y Serrano (2016). De ahí la importancia del trabajo, cuya zona de estudio principal, presenta como problema científico, ¿cómo contribuir a revertir el deterioro de una franja del ecosistema de manglar en la zona sur del municipio San Cristóbal?; siendo el objetivo principal: Diseñar una metodología que permita la recuperación del ecosistema manglar con SIG de monitoreo y actualización, aplicada desde la desembocadura del río San Cristóbal hasta el río «Los Colorados».

MATERIALES Y MÉTODOS

Métodos de Investigación: teóricos: análisis - síntesis, inductivo - deductivo, histórico- lógico y técnicas empíricas: observación, entrevistas, observación.

Área de estudio. Principales características

La zona costera escogida para su estudio, pertenece al municipio de San Cristóbal, radicando en el área del Consejo Popular José Martí, se caracteriza por ser una zona poco poblada, encontrándose concentrada la mayor densidad de población de la comunidad El Mambí (está compuesta por El Mambí y Loma Colorada El Mambí). La misma abarca un total de 1582,59 ha del sector que se encuentra ubicado en la Llanura Sur- Occidental de la Provincia Artemisa (llanura costera muy baja).

La zona se encuentra expuesta a los eventos meteorológicos que anualmente azotan al país y las afectaciones tras el paso de los huracanes Gustav e Ike en el año 2008, fueron significativas (Figura 1).

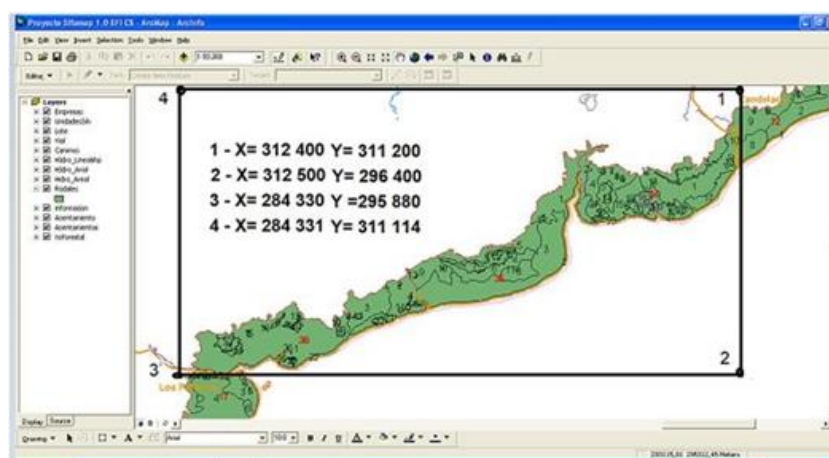


Fig. 1. Área de estudio.

Fuente: Mapas ordenación forestal Empresa Agroforestal (EAF) Costa Sur.

En esta área, se realizó un estudio físico geográfico para concretar los problemas que estaban incidiendo en algunos de los recursos naturales costeros, siguiendo para ello, la metodología de Rodríguez (2003) para la ubicación, determinación e inventario en las parcelas, teniendo en cuenta además los siguientes aspectos:

Descripción del área de estudio; Asentamientos y poblados; Tenencia; Uso del suelo; Características climáticas; Características hidrográficas; Niveles de contaminación y Relieve.

La misma corresponde al ecosistema manglar y abarca un total de 1582,59 ha., de ellas:

- 1305.45 ha. de superficie boscosa
- 241,57 ha. de lagunas temporales y permanentes
- 12.76 ha. manigua costera
- 22.81 ha de poblado El Mambí

Asentamientos poblacionales:

La zona costera escogida para su estudio, pertenece al municipio de San Cristóbal, radicando en el área del Consejo Popular José Martí, se caracteriza por ser una zona poco poblada, encontrándose concentrada la mayor densidad de población de la comunidad El Mambí está compuesta por El Mambí y Loma Colorada El Mambí. A continuación, se muestran: población existente (Tabla 1); estado de las viviendas (Tabla 2) y el uso de los suelos (Tabla 3).

Tabla 1. Población existente en la comunidad "El Mambí"

Población		
Masculina	Femenina	Total
438	385	823

Fuente: Datos del Consejo Popular, municipio San Cristóbal.

Tabla 2. Estado de las viviendas.

Estado	Tipología			
	I	II	III	IV
Bueno	-	-	-	12
Regular	-	-	-	8
Malo	185	-	-	85
Totales	185	-	-	105

Fuente: Datos del Consejo Popular, municipio San Cristóbal.

Tabla 3. Uso de los suelos

USO DE SUELO	Área (ha)
Forestal y Mangle	1305,45
Tierra Ociosa	80,52
Pasto Natural	120,78
Asentamientos	14,44
Viales	10,47
Total	1531,66

Fuente: Datos EAF Costa Sur.

Valoración del subsistema Físico Natural

Según plan de ordenación de la empresa, el sector se encuentra ubicado en la llanura Sur- Occidental de la provincia Artemisa, (llanura costera muy baja) sobre depósitos de mangles de edad cuaternaria, compuestos por limo arcilloso y arenosos y turbas; suelo de la serie Saranton, poco profundo y poco drenado, con relieve llano y pendiente media del 2 %; procesos de encharcamiento por la deficiente evaporación de las aguas continentales y clase agroecológica baja.

Características hidrográficas

En el área de estudio se encuentra el río San Cristóbal como parte de una cuenca de importancia provincial, por su extensión, con un área de 545.5 Km², el cual desemboca en la Ensenada de Cantón donde existe un embarcadero y una Unidad del Cuerpo de Guardabosques. El fondo del río es de fango arenoso gris. El relieve submarino del río a partir de la entrada se aclara y cae suave con tendencia a aumentar las profundidades río arriba. Los puntos de interés que se encuentran en el área son: Playa Comegatos; Ensenada de Cantón; Punta La Capitana y Punta Santo Domingo.

Situación ambiental de la zona según estudios previos realizados por la empresa

- Calidad ambiental comprometida por las características fisiográficas de la zona.
- Deficientes condiciones de drenaje.
- Vertido de residuales domésticos e industriales al mar.
- Mal estado las redes de alcantarillado y de aguas albañales en las comunidades costeras.
- No se cuenta con planta de tratamiento de residuales en la zona.
- Existencia de focos contaminantes (vertimiento de residuales del Central José Martí, de la cabecera municipal e incluyendo además el embarcadero que existe en el estero).
- Deterioro de las condiciones higiénico sanitarias.
- Erosión costera en la mayor parte del litoral costero.
- Contaminación de las aguas por lo antes expuesto.
- El avance de la salinidad en el sector costero.
- Desertificación y deterioro de los suelos en general por todo lo expuesto.

El presente estudio ha desarrollado tres momentos fundamentales del trabajo:

Etapa I: Descriptiva e informatización.

Etapa II: Preparatoria con gestión integrada de zona costera.

Etapa III: Mitigación y seguimiento.

Etapa I: Descriptiva e informatización

Partiendo de la capacitación técnica y búsqueda de información sobre estudios realizados en el área. Se delimitaron las áreas, así como un diagnóstico biofísico del ecosistema con el empleo del método de observación científica. El método de inventario se corresponde con las características de accesibilidad del bosque y la escala fotográfica disponible, por lo que ofrece alternativas para la evaluación del ecosistema. Se demuestra que para las tareas de mapeo las fotografías aéreas, mediante un simple examen estereoscópico, permiten la estratificación de las áreas utilizando los criterios antes mencionados, reduciendo considerablemente las tareas del inventario y una mayor confiabilidad de datos. Quedaron 21 parcelas a levantar en el lote 34 como aparece en la figura 1, se midieron un total de 945 árboles.

En la toma de datos se empleó una planilla de campo para cada parcela levantada donde se anotó: diámetro a 1.3 m, altura, estado sanitario, contaminación, regeneración natural, entre otros. El método de inventario empleado en el muestreo fue el sistemático con parcelas alineadas, recomendado por FAO (1994), para las características del bosque de manglar y descrito por Rodríguez (2003), Samón (2009) y Rodríguez, Samón *et al.*, (2014). Dado que el área escogida se ubica en una zona que se encuentra expuesta a los eventos meteorológicos que anualmente azotan al país, se estudian las causas de deterioro provocados por tensiones de origen natural y antrópicas que afectan el ecosistema de manglar, sus consecuencias y soluciones, teniendo en cuenta lo propuesto tanto por Menéndez (2013) como por Iturralsdes y Serrano (2016), así como el grado de incidencia actual en la zona a recuperar. Además, se aplica el método empírico de encuestas.

Etapa II: Preparatoria con gestión integrada de zona costera

Una vez que se ha caracterizado el área y se identifican los principales problemas a resolver, se hace el análisis de riesgo-vulnerabilidad y posibilidades de adaptabilidad con aumento de resiliencia de las comunidades costeras. Se diseña el SIG que se apoya en la apertura del esquema propuesto por Rodríguez *et al.*, (2011) para el proceso de manejo de análisis de riesgos con gestión integrada en zonas costeras. El mismo cubre tres etapas fundamentales:

- **Primera etapa:** Informatización
- **Segunda etapa:** Análisis de riesgo-vulnerabilidad y adaptación con vistas a la recuperación del ecosistema con gestión integrada.
- **Tercera etapa:** Monitoreo y/o seguimiento, control y actualización.

Etapa III: Mitigación y seguimiento

(En esta etapa se encuentran implícitos los dos últimos pasos del proceso anteriormente descrito).

Elaboración, desarrollo y aplicación de metodologías para la mitigación a los Cambios Climáticos Globales (CCG), con acciones de seguridad y control para zonas costeras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el proceso de formulación fueron consultadas todas las partes interesadas (empresa agroforestal encargada, gobiernos locales, comunidades costeras, entre otros) y se realizó una revisión de los proyectos/programas actuales o planificados. Esta revisión confirmó que el trabajo no duplicará ninguna de estas iniciativas, sino más bien generará sinergias y complementariedad.

Etapa I: Etapa descriptiva e informatización

Recopilación de información sobre diagnóstico biofísico, valoración de impactos ambientales, consecuencias. Aspectos de los CCG que más afectan la zona costera.

Resultados generales del diagnóstico biofísico

- Un elevado por ciento, el 85 del bosque muestreado, se halla deteriorado.
- Existe erosión costera (sedimentación, numerosas cabezas de esteros, acumulación de materiales no biodegradables en toda la costa, pobre intercambio de las mareas, etc.)
- Esteros dentro de parcelas obstruidos que impiden el flujo de las mareas hacia el interior del bosque.
- Salinidad del suelo elevada en su mayoría en el orden del 6-8% debido al represamiento y canalización aguas arriba, lo que ha impedido el necesario intercambio de agua dulce.
- Incremento en número y tamaño de salitrales y otros en vía de formarse, unos debido a eventos meteorológicos fuertes que han provocado mortalidad masiva y otros por tala indiscriminada y elevada salinidad.
- Contaminación media en todo el ecosistema que aún no ha afectado significativamente el pH de suelo.
- Afectaciones al paisaje en general.

La figura 2 muestra las interacciones entre los factores naturales y antrópicos obtenida a partir de una matriz de impactos (Figura 2).

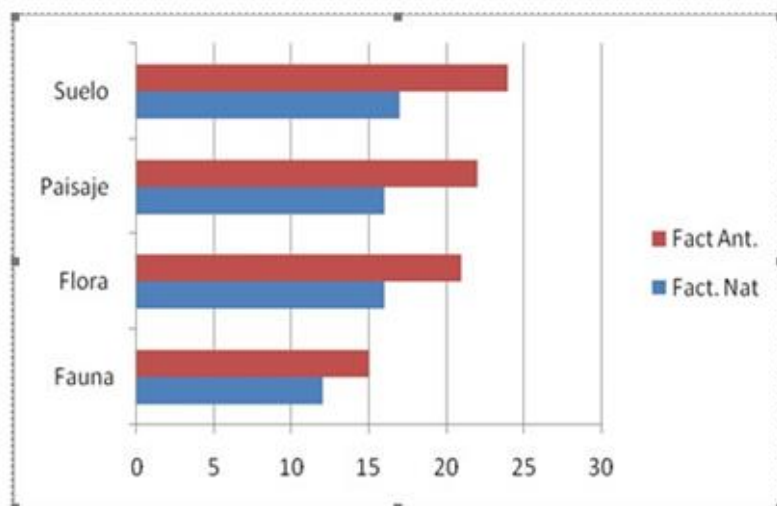


Fig. 2. Interacciones de los factores naturales y antrópicos con los elementos del área de estudio

Descripción de las 21 parcelas del muestreo preliminar del Lote 34:

En las parcelas **No. 3, 5, 7 y 8** predomina *A. germinans*, se caracteriza por encontrarse sobre un área de inundación frecuente, por lo que *L. racemosa* está casi ausente, ya que sus neumatóforos son más pequeños por la característica propia de la especie, también existen pequeños cuerpos de agua.

La parcela **No. 15** se ubica relativamente cercana a la costa con inundación frecuente y altas salinidades, de ahí que se desarrolle *A. germinans*.

Las parcelas **No. 18 y 19** se encuentran más cerca del borde interno de la cuenca, por lo que se presentan árboles maduros (con buenas características de semilleros) tanto en *A. germinans* como de *L. racemosa*.

Las parcelas **No. 12 y 9** tienen una mayor presencia de *A. germinans*, pero con menos desarrollo de *R. mangle*, *L. racemosa* y *C. erectus*.

En la parcela **No. 11**, predomina *C. erectus*, ésta crece cercana a los terrenos agrícolas y más elevados.

En las parcelas **No. 1, 2, 4, 6, 10, 13, 14, 16, 17 y 20** *A. germinans* crece sobre sustrato bajo (forma cuenca) y se encuentra cerca de un estero.

En la parcela **No. 21** predomina *A. germinans* sobre *L. racemosa* y *R. mangle*, observándose que *L. racemosa* aparece sobre microelevaciones de la cuenca delineada y *R. mangle* sustentado sobre un estero de nueva formación que atraviesa la parcela. Se midieron un total de 945 árboles que representa una densidad media de 45 árboles / 0,01 hectáreas, siendo la composición.

Estos resultados coinciden con los de Rodríguez (2003) en el sector Coloma-Las Canas del Sur occidente de Pinar del Río, Cuba.

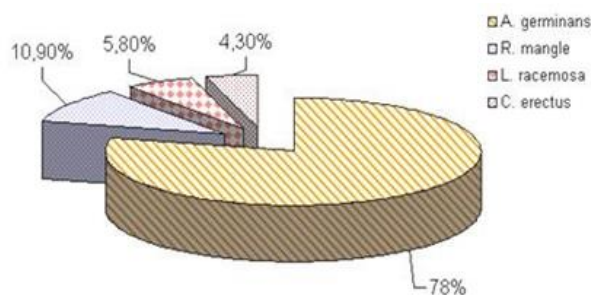


Fig. 3. Participación por especies (8Ag; 1Rm; 1Lr + Ce)
Leyenda Ag: *Avicennia germinans*; Rm: *Rizophora mangle*, Lr: *Laguncularia racemosa* y Ce: *Conocarpus erectus*.

Etapa II: Preparatoria con gestión integrada de zona costera

Análisis de riesgo-vulnerabilidad y posibilidades de adaptabilidad con aumento de resiliencia de las comunidades costeras

Los impactos del Cambio Climático no ocurren de una forma aislada. Cuba no ha estado ajena a tal fenómeno Chang (2013) y Planos (2014). Su afectación principal ha sido por riesgos climáticos, sobre todo ocurrencias de huracanes y tormentas, las que han destruido zonas extensas de manglares por las intensas cargas de sedimentos que han provocado mortalidad masiva, así como inundaciones severas con permanencia hasta provocar la anoxia.

La reforestación no debe dejarse solamente en manos de la entidad forestal o medioambiental que tiene bajo su jurisdicción la atención a los ecosistemas costeros y bosques de manglar; debe ser tarea de conjunto para que perdure y sea exitosa; debe entenderse su vital ejecución, porque en ello va implícito el desarrollo costero a nivel local, territorial, nacional y global.

Muchos han sido los autores que han abordado el tema de la restauración en los últimos tiempos, en Cuba, Matos y Quesada (2006) propusieron una metodología de restauración general de ecosistemas degradados, la que fue adaptada a ecosistemas costeros por Baigorria y Rodríguez (2008), en esta precisamente se basa esta investigación, realizando una nueva propuesta para su perfeccionamiento.

El esquema del proceso de manejo de riesgos en zonas costeras sería:

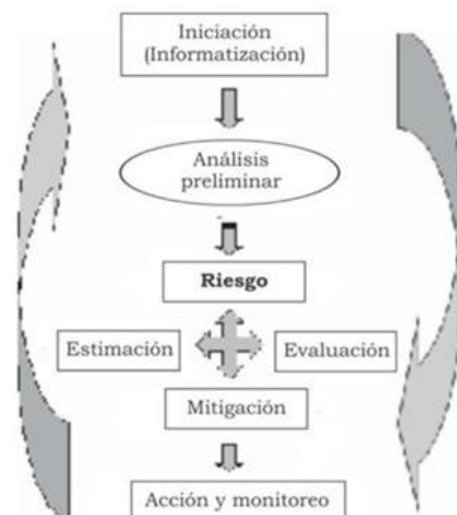


Fig. 4. Esquema del proceso de manejo de análisis de riesgos con gestión integrada en zonas costeras

Descripción de pasos:

Iniciación: Obtención de informaciones sobre antecedentes, análisis documental, adquisición de conocimientos sobre el tema.

Establecer metodología: Se comienzan a aplicar las acciones que permitan mitigarlos y preparar el área para el comienzo de la recuperación.

Análisis preliminar: Estado actual del ecosistema, diagnósticos comprobatorios. Elaboración y presentación del proyecto. Gestión de financiamiento. Presentación del proyecto a comunidades costeras y entidades involucradas. Realización de talleres con participación comunitaria y seminarios de capacitación en entidades involucradas. Elaborar programa de gestión integrada.

Estimación del riesgo: Para eventos meteorológicos, basarse fundamentalmente en predicciones meteorológicas locales y nacionales, previo estudio de dinámica de incidencia de tales fenómenos en la zona costera en cuestión (este estudio se realizó en el SIG de monitoreo confeccionado, donde se tuvo en cuenta la dinámica de los huracanes que han azotado el área de estudio y las previsiones para atenuar el riesgo ante futuros eventos, lo que constituye un nuevo aporte a la metodología). Para ascensos del nivel del mar, realizar estudios de dinámica costera y balizaciones marcadas que permitan el estudio de los ascensos del nivel del mar con el tiempo en la zona costera en cuestión. Estudiar la dinámica de la red trófica alimentaria del litoral costero, así como su estado actual. Realizar estudios de dinámica sobre incidencia de precipitaciones y períodos de sequía. Todo ello aparece diseñado en el SIG. Los estudios de balizaciones para los ascensos del nivel del mar, aún se están realizando, pero hasta el momento ha quedado claro que han ocurrido ascensos de aproximadamente 2 a 2,5 cm.

Evaluación del riesgo: Este paso es cuidadosamente importante, en primer lugar, por la característica de resiliencia de los ecosistemas costeros; es decir, su dinamismo no permite confiar ciegamente en las predicciones y resulta difícil su modelación. Es por ello que son imprescindibles los estudios de dinámica mencionados, ya que permitirán la predicción de posibles escenarios y el modo de actuación en cada caso.

La reforestación seleccionando las especies de mangle según las condiciones ecológicas óptimas donde se desarrollan cada una de ellas (Rodríguez, Samón *et al.*, 2014).

- a) Plantar *Rhizophora mangle* en la primera franja, borde de los canales y en los sitios con inundación permanente y valores de salinidad cercanos a los del mar (entre 37 y 40 %). En los casos que las olas pudieran mover los propágulos, primeramente, se deberán proteger con barreras mecánicas hasta su total enraizamiento y desarrollo.
- b) Plantar *Avicennia germinans* en las áreas que no estén en la primera línea de costa, con influencia de la marea e inundaciones temporales y los mayores valores de salinidad.
- c) Plantar *Laguncularia racemosa* en sitios de mayor altura y con poco nivel de inundación y bajos valores de salinidad.
- d) Plantar *Conocarpus erectus*, en las áreas periferales de la franja costera, más secos y elevados y con los menores valores de salinidad.

Para la rehabilitación de estas áreas se propusieron las acciones siguientes:

- Eliminación de secciones del dique en los tramos donde se requiera, que garantice el restablecimiento de la circulación y los flujos de agua.
- Apertura de los canales naturales.
- Limpieza de los aliviaderos y aumento de los mismos donde se requiera.
- Cierre paulatino de los canales artificiales cuyo drenaje afecte al manglar.
- Eliminación de vertederos por constituir una fuente de contaminación y causa de deterioro del manglar.
- Si la fuente de propágulos no fuera efectiva en los diferentes sitios, o se quisiera acelerar el proceso de recuperación de la vegetación, se podrá proceder a la reforestación (con las especies arbóreas indicadas para cada caso según las condiciones de cada sitio).

Etapas III: Mitigación y seguimiento

Teniendo en cuenta los escenarios probables derivados de los estudios de dinámica de la zona costera en cuestión, se elabora la metodología a seguir en proceso de adaptación y mitigación de los CCG, gestionando integradamente con todos los organismos y comunidades involucrados, particularmente en la responsabilidad de cada cual. Limpiar y reforestar luego del paso de eventos meteorológicos que afecten el litoral costero resulta imprescindible.

Una vez que se ha caracterizado el área y se conocen los principales problemas a resolver. Se comienzan a aplicar las acciones que permitan mitigarlos, y preparar el área para el comienzo de la recuperación, que incluye la limpieza de esteros y cursos de agua naturales, el estudio de la posibilidad de una red hidrológica artificial si no se revierte la situación con lo anterior, así como la preparación del sitio proliferando *Batis marítima* L. o cobertores artificiales que protejan la humedad del suelo (pre y pos período lluvioso). La reforestación con *Avicennia germinans* y/o *Laguncularia racemosa* en áreas con proliferación de *Batis marítima* L.; reforestación en litoral costero y bordes de esteros con *Rizophora mangle*; reforestación con *Conocarpus erectus*, si fuese necesario.

Resultados del SIG diseñado

Se desarrolló una aplicación de Sistema de Información Geográfica (SIG) en interés de evaluar la dinámica sucesional para el manejo del riesgo climático en la zona con gestión integrada, se apoya en la apertura del esquema propuesto por Rodríguez *et al.*, (2011) para el proceso de manejo de análisis de riesgos con gestión integrada en zonas costeras.

Se diseña un riguroso sistema de muestreo y monitoreo de los eventos que se suceden durante el proceso de recuperación según Hernández (2013). Dada la observación en las cinco áreas, más la línea de costa, se puede afirmar que el comportamiento de la regeneración natural es aceptable, se evidencia buena cantidad de plántulas incipientes, siendo la línea de costa y el área conservada (Ac) las zonas con un valor considerable de plántulas, con menor valor en el área antropizada (Aa). Hay diferencias en la relación existente entre la regeneración incipiente y la regeneración establecida, lo que puede estar determinado por factores naturales. Según pobladores, después del paso de los huracanes, la zona quedó defoliada totalmente y desde entonces se ha comenzado a evidenciar un aumento de la regeneración, demostrado en el alto valor de plántulas menor de 0.5 m de altura existente en el área. El paso de los rayos de sol hasta el suelo aumenta con la disminución de la cobertura foliar de los árboles, posibilitándole a las semillas las condiciones de humedad y luz necesaria para su germinación; siendo esta una experiencia a manejar dentro de las áreas de manglar donde la regeneración sea mala.

El comportamiento de la mortalidad del área es provocado por dos presiones fundamentales; la acción negativa de los pobladores locales y la acumulación de desechos por fenómenos naturales.

En el proyecto de rehabilitación se tuvieron en cuenta los aspectos señalados en las leyes 81 del Medio Ambiente (1997), 85 Ley Forestal (1998) y el Decreto Ley de zonas costeras 212 (2000), así como el Instructivo técnico de Rodríguez, Samón *et al.*, (2014), diseñándose un riguroso sistema de muestreo y monitoreo de los eventos que se suceden durante el proceso de recuperación con los indicadores siguientes:

- Desarrollo de las plantas sembradas, que incluye: capacidad adaptativa, crecimiento, resistencia a la sequía o lluvias, características fenotípicas y otros aspectos de su fenología.
- Muestreo de la supervivencia en el campo.
- Muestreo del establecimiento de la fauna nativa o invasora.
- Exceso o defecto de especies vegetales regeneradas.
- Muestreo de la recuperación fisonómica de la vegetación.
- Muestreo de la presencia de especies vegetales invasoras, secundarias y plagas.
- Muestreo de la recuperación de la dinámica del ecosistema.
- Evaluación periódica de la calidad de los resultados y de las acciones y métodos utilizados.
- Otras si fuera necesario.

Con la aplicación de la reforestación con monitoreo y seguimiento continuo de las 100 ha., hasta su establecimiento definitivo, se trabajó en función de:

- a) Rehabilitar los cursos de agua, ya sea limpiando esteros naturales o construyendo canales artificiales.

b) Preparación del sitio proliferando *Batis marítima* L. o cobertores artificiales que protejan la humedad del suelo (pre y pos período lluvioso).

- Traslado de plántulas de sitios cercanos con buena regeneración natural.
- Voleo de semillas en período óptimo.
- Creación de viveros comunitarios temporales.

c) Monitoreo y observaciones del investigador in situ durante la etapa de plantación y desarrollo de ésta, incluyendo monitoreo y control de plagas y enfermedades.

Propuesta de Sistema de Medidas de Recuperación de las áreas de manglar afectadas por eventos meteorológicos (huracanes y tormentas) a mediano y largo plazo en el área de estudio.

- a. Una forma de restaurar estos suelos salinos es comenzar la recuperación en el período lluvioso para aprovechar el lavado, realizando pequeños canalizos a favor de las pendientes que propicien el mismo.
- b. Facilitar la proliferación de *Batis marítima* que permita un cobertor natural del suelo que lo proteja del proceso erosivo y facilite que la regeneración natural o la reforestación que se realice, se establezca.
- c. Para sitios donde no existan árboles semilleros, se deben crear viveros con las especies autóctonas de los mismos, se sugiere en lo posible, sean comunitarios como parte del programa de educación ambiental del área protegida.
- d. Deben realizarse otros estudios de suelos y de aguas más profundos que faciliten las bases para la elaboración de un manejo adecuado del ecosistema manglar con carácter de sostenibilidad.
- e. Realizar estudios geomorfológicos, climatológicos, de contaminantes y de dinámica de erosión por ascensos del nivel del mar del litoral costero.

CONCLUSIONES

El bosque de manglar desde la desembocadura del río San Cristóbal hasta el río «Los Colorados», se encuentra en un estado de deterioro, demostrado en los resultados del Diagnóstico Biofísico efectuado.

El intercambio de agua dulce y salada, de vital importancia para los ecosistemas de manglar, se ha visto afectado en el área de estudio por la presencia de la Derivadora, la cual ha disminuido significativamente el curso del río sobre todo aguas abajo.

El análisis de los suelos arrojó resultados interesantes que permitirán una mejor planificación de la línea a seguir para la restauración ecológica de las áreas degradadas y salitrales de reciente formación.

Queda demostrado que los eventos meteorológicos y antropización que inciden en el área de estudio han sido las principales causas de la pérdida de las especies *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*, en el litoral y la cuenca del área de estudio.

El SIG de monitoreo diseñado, permitirá la toma de decisiones para mitigar los efectos de los cambios climáticos en la zona, ya que consta de todos los elementos a tener en cuenta para mitigar riesgos y vulnerabilidades, siendo la reforestación la clave del éxito en este resiliente ecosistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAIGORRÍA, D., RODRÍGUEZ, G., DOMÍNGUEZ, O. y MILIÁN, I., 2008. Nueva experiencia en la restauración de manglares, playa Las Canas, La Coloma, Pinar del Río, Cuba. *Revista Forestal Baracoa* [en línea], [Consulta: 2 abril 2018]. ISSN 0138-6441. Disponible en: http://agris.fao.org/agris-search/search.do;jsessionid=15A8CC20365350820CC489AF5485DED2?request_locale=es&recordID=CU2010800001&sourceQuery=&query=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField=.
- CHANG F., S., 2013. Peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres y el Cambio Climático. Visión integradora. La Habana, Cuba: Agencia de Medio Ambiente. (AMA) Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).
- COLECTIVO DE AUTORES y PATRICIA GONZÁLEZ, C., 2015. *Manejo Integrado de Zonas Costeras en Cuba. Estado actual, retos y desafíos* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-959-293-028-5. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299584609_Manejo_Integrado_de_Zonas_Costeras_en_Cuba_Estado_actual_retos_y_desafios.
- CONSEJO DE ESTADO, 1997. Ley 80 de Medio Ambiente. Gaceta oficial de la República de Cuba. La Habana, Cuba:
- CONSEJO DE ESTADO, 1998. Ley 85 Forestal. Gaceta oficial de la República de Cuba. Edición ordinaria. La Habana, Cuba: Año XLVI No. 46.
- CONSEJO DE ESTADO, 2000. Decreto Ley 212 Gestión de Zonas Costeras. Gaceta Oficial de la República de Cuba. [en línea]. Legislativo. La Habana, Cuba: Disponible en: <https://www.ecolex.org/details/legislation/decreto-ley-no-212-gestion-de-la-zona-costera-lex-faoc023215/>.
- FAO, 1994. Directrices para la ordenación de los manglares. Parte III. Evaluación de los recursos del manglar. Roma, Italia:
- HERNÁNDEZ ÁVILA, 2013. *Reporte de avance del Sistema de Monitoreo de la Biodiversidad: Proyecto GEF/PNUD aplicación de un enfoque regional al manejo de las áreas marino-costeras protegidas en la Región Archipiélagos de Sur de Cuba* [en línea]. S.l.: Centro Nacional de Áreas Protegidas. ISBN 978-959-287-038-3. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/Reporte_de_avance_del_Sistema_de_Monitor.html?id=irqVtAEACAAJ&redir_esc=y.
- ITURRALDE-VINENT, M., SERRANO MÉNDEZ, H. y DE AUTORES, C., 2016. *Peligros y vulnerabilidades de la zona marino-costera de Cuba: estado actual y perspectivas ante el cambio climático hasta el 2100* [en línea]. La Habana, Cuba: Editorial Academia. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/304254102_Peligros_y_vulnerabilidades_de_la_zona_marino-costera_de_Cuba_estado_actual_y_perspectivas_ante_el_cambio_climatico_hasta_el_2100.

MATOS MEDE y BALLATE D, 2006. *ABC de la restauración ecológica* [en línea]. La Villas, Cuba: Feijoo, Universidad Central de Las Villas Martha Abreu, Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna (ENPFF). Disponible en: <http://catalogo.bnjm.cu/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=85738>.

MENÉNDEZ, C., L., 2015. Los manglares del archipiélago cubano y su protección ante la elevación del nivel medio del mar debido al cambio climático. La Habana, Cuba: Centro Nacional de Biodiversidad. Instituto de Ecología y Sistemática.

MENÉNDEZ, L., 2006. *Ecosistemas de manglar en el archipiélago cubano*. La Habana, Cuba: Academia.

MENÉNDEZ, L., 2013. *El ecosistema de manglar en el archipiélago cubano: bases para su gestión* [en línea]. Tesis presentada en opción de grado Científico de Doctor en Ciencias. España: Universitat d'Alacant - Universidad de Alicante. [Consulta: 2 abril 2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=59555>.

PLANOS, E., 2014. Síntesis Informativa sobre Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. La Habana, Cuba: Los Proyectos Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local (Basal) y Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Instituto de Meteorología de la Agencia de Medio Ambiente (AMA), del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

RODRÍGUEZ, G., 2003. *Bases para el manejo sostenible de un bosque de manglar en estado de deterioro. Sector Coloma- Las Canas, Pinar del Río*. Tesis doctoral. España: Universidad de Alicante, España.

RODRÍGUEZ, G., 2011. Enfoque de manejo de riesgo climático para la reducción de desastres y adaptación al cambio climático en zonas costeras. *Revista Forestal Baracoa*, vol. 30, no. 12, pp. 45 51.

RODRÍGUEZ, G. Bases para el manejo sostenible de un bosque de manglar en estado de deterioro. Sector Coloma- Las Canas, Pinar del Río. Tesis doctoral Universidad de Alicante, España-Universidad de Pinar del Río, Cuba. 2003

RODRÍGUEZ, G. SAMÓN, R. y col. Instructivo técnico: Reforestación en manglares. 2014.

RODRÍGUEZ, G. y col. Enfoque de manejo de riesgo climático para la reducción de desastres y adaptación al cambio climático en zonas costeras. *Revista Forestal Baracoa (CU)* 30 (12): 45 51. 2011

RODRÍGUEZ, G. y col. Estrategia viable de restauración ecológica de manglares en áreas deterioradas del sector Cortés, Pinar del Río, Cuba. *Revista Científica Avances*. Editada por el Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río. Vol. 17, No.1 enero-marzo, 2015.

SAMÓN, R., 2009. *Evaluación de la diversidad florística de los cayos de San Felipe, proponiendo una estrategia para su conservación y manejo sostenible*. Tesis de maestría en Ciencias Forestales. Pinar del Río, Cuba: Universidad de Pinar del Río «Hermanos Saíz Montes de Oca».