

Restauración del Área Manglar de Mar Negro, Reserva Nacional de Investigación Estuarina (Guayama-Salinas), Puerto Rico

Dr. José Seguinot Barbosa
Departamento de Salud Ambiental
Escuela Graduada de Salud Pública
Recinto de Ciencias Médicas
jseguinot@rcm.upr.edu

Resumen

Este proyecto consistió en evaluar las condiciones ambientales de la zona conocida como Mar Negro, ubicada en la parte occidental de la Reserva Nacional Estuarina de Bahía de Jobos (Guayama-Salinas), utilizando los sistemas de información geográfica (SIG) de la percepción remota, posición global (SPG) y el muestreo de campo. El propósito central era evaluar y desarrollar varios escenarios geográficos que ayudaran a determinar las causas que están deteriorando la calidad del manglar existente en esta zona geográfica. Para conseguir este objetivo se identificaron las áreas perturbadas, se diseñó y realizó un muestreo sistemático de las variables antrópicas (cambios en el drenaje, presencia de metales pesados) y naturales (condiciones de salud del mangle y las variaciones en su salinidad). Para llevar a cabo los análisis geográficos se introdujeron los datos en el SIG, se realizaron interpolaciones y se validaron los escenarios geográficos. El objetivo central del proyecto era redactar un Plan de Restauración que recogiese recomendaciones concretas para mejorar la situación degradante que experimenta este valioso recurso.

Objetivos

En primer lugar este proyecto tenía como objetivo evaluar las condiciones ambientales existentes en el Mar Negro combinando el uso de la tecnología de los sistemas de información geográfica, de la percepción remota y el muestreo de campo. En segundo lugar pretendió desarrollar un modelo geográfico de la situación ambiental existente y en tercer lugar ha intentado hacer recomendaciones concretas dirigidas a la restauración ecológica del medio y de la vegetación. Este proyecto tiene el objetivo de estudiar y analizar las consecuencias que ha traído la intervención humana, sobre todo en lo que se refiere a la desaparición del mangle en la zona. También persigue identificar las medidas que podrían tomarse para lograr la recuperación de esta vegetación. El último y no menos importante objetivo será la implantación de las recomendaciones señaladas. En síntesis, este proyecto ha tenido como objetivo central desarrollar un Plan para la restauración ambiental y vegetativa del manglar del Mar Negro. Tanto el diagnóstico y/o evaluación ambiental, como la recreación de escenarios geográficos favorables y la redacción de las recomendaciones forman parte del trabajo que a continuación presentamos.

Tesis

Antrópica: Los factores antrópicos (humano) están causando la mortandad del manglar. Estos son: *la alteración del drenaje y la introducción de químicos.* .

Natural: Los factores naturales están causando la mortalidad del mangle. Estos son: *las condiciones de salud del mangle y las variaciones en su salinidad.*

Zona de Estudio

El área de estudio comprendió una franja rectangular de terreno ubicada al norte del Mar Negro entre las latitudes 17 grados 56 minutos Norte y 17 grados con 57 minutos Norte y 66 grados 14 minutos Oeste y 66 grados con 15 minutos Oeste. La extensión del área es de aproximadamente 3700 pies de largo y 1250 pies de ancho para un área de 4950 pies cuadrados. La zona de estudio (Figura 1) representa un área costera estuarina compuesta en su mayor parte por un sistema de mangle negro. La parte norte la comprende una zona de transición vegetativa altamente alterada por la influencia humana entre la que se incluye la actividad agrícola prevaeciente al norte. La zona está delimitada al oeste por los linderos de la comunidad de Las Mareas, al este por el dique de la termoeléctrica de Aguirre, al norte por la zona agrícola y al sur por la franja manglar perteneciente al Mar Negro. El terreno bajo estudio pertenece a la Reserva Estuarina de Jobos y aunque físicamente en su interior no hay actividad industrial, ni agrícola tanto en el pasado como en el presente la zona de estudio ha estado expuesta a la presión ambiental que genera la actividad agrícola del norte y la industrial del este.

Metodología

- I. **Evaluación de las condiciones ambientales existentes-** El propósito de esta etapa fue determinar en la zona manglar de estudio (utilizando la tecnología de los sistemas de información geográfica, de percepción remota y el muestreo de campo) las condiciones de salud del mangle.
 - a. **Diseño de muestreo-** Se diseñó un muestreo puntual basado en el tamaño del área de estudio. Se construyó una cuadrícula sobre una imagen aérea a color (Figura 1) del área estudiada. La distribución de las cuadrículas se determinó dividiendo el largo del área de estudio (7.5 pulgadas) y el ancho (2.5pulg.), en unidades de media pulgada. Ello resultó en una extensión de 70 cuadrículas. Se trabajó cada media pulgada para que cada una representara aproximadamente 250 pies cuadrado, según la escala establecida. La correlación entre el tamaño de la cuadrícula y la escala se confirmó en el terreno a partir de la medición de distancia entre varios puntos conocidos. Luego de dividida la zona de estudio en ArcView 3.2 se

escogieron al azar un 20% de las cuadrillas para llevar a cabo el muestreo. Estas catorce cuadrículas fueron escogidas utilizando el programa de Excel. Como cada cuadrícula tenía un código y un centroíde (punto central de la cuadrícula) dentro del programa de ArcView, el programa de Excel usó como base esta información para escoger al azar las cuadrillas representativas. Se escogieron cuatro cuadrículas adicionales (18 en total) por si alguna de las 14 era inaccesible. Los puntos seleccionados aparecen representadas en en la figura 3.

b. Posicionamiento de muestreo en el terreno- Esta segunda fase consistió en traducir al terreno los centroídes o puntos centrales de cada una de las cuadrículas o unidades de muestreo. Para ello en el terreno se identificaron, en la zona de estudio, seis puntos de control. Utilizando un sistema de posición global Magellan 2000 (GPS) se establecieron las coordenadas de cada uno de los puntos control y se rectificaron con las coordenadas que ya poseía la Reserva Estuarina para estos puntos. A partir de los puntos control, de la escala, la foto aérea y de las referencias geográficas identificadas en el terreno, utilizando el GPS y una cinta métrica se marcaron cada uno de los puntos centroídes seleccionados en el muestreo al azar. Para cada punto se determinó su coordenada y su dirección con relación a otro punto u objeto de referencia. En el suelo se marcó cada uno de los puntos del muestreo usando una varilla de hierro con una cinta verde. En la cinta se escribió el número del punto. Una vez tomadas las coordenadas de cada punto se introdujeron a una base de datos previamente creada en ArcView. Allí pudieron rectificarse los errores de precisión de las coordenadas a la misma vez que se creó una capa de información con sus respectivos atributos para cada uno de los puntos del muestreo (Figura 4).

c. Toma de las muestras: El muestreo sistemático sobre el terreno incluyó la compilación de muestras de sedimentos y/o agua de los puntos seleccionados. En estos puntos se tomaron datos de los parámetros ambientales tales como la salinidad, la concentración de metales pesados (plomo, mercurio, arsénico, cobre) y la condición de flujo o drenaje. Se determinó la salud de la vegetación y el dominio de cada especie según los parámetros de la American Forestry. Se identificaron el tipo de suelo prevaleciente en cada punto, el impacto humano, la geología, la condición hidrológica prevaleciente, la altura topográfica de cada punto, el impacto humano, la altura de la vegetación y la presencia u ausencia de nematóforos en el punto. El primer muestreo se llevó a cabo el 12 de mayo de 2002 para tratar de que el mismo coincidiese con el inicio de la época lluviosa. Un segundo muestreo, exclusivamente para la salinidad, se realizó el 15 de noviembre de 2002. En este periodo debía culminar la época de lluvia y un tercer muestreo se realizó el 28 de marzo de 2003 con el fin de evaluar las condiciones ambientales durante el periodo más seco y de corroborar los datos colectados previamente. Los análisis de tipo geológico, hidrológico y topográfico y de la vegetación fueron realizados

por el equipo de trabajo tanto en la zona de estudio como en el Departamento de Salud ambiental. Los resultados de todos los análisis se integraron a la base de datos construida en ArcView para luego ser analizada tanto espacialmente como estadísticamente (Figura 4).

d. Análisis Espacial: Después de procesados los datos en el laboratorio y de haber integrado los resultados a la base de datos creada en ArcView se procedió a realizar los análisis espaciales correspondientes. Para cada una de las variables analizadas se procedió a establecer la distribución espacial utilizando el módulo del Spatial Analysis de ArcView. En primer lugar se hizo un análisis de la distancia entre los puntos de muestreo para así poder establecer los “clusters” o agrupaciones de los mismos (Figura 5). De los mismos puntos se hizo un análisis de proximidad para poder definir las fronteras entre cada uno de ellos. Estas fronteras definen la extensión de acción de cada punto según ha sido determinado por los valores de sus atributos (Figura 6). Utilizando el componente de análisis de imágenes de ArcView se procedió a determinar las categorías de cobertura del terreno en la imagen de 1997 (Figura 7). La distribución de estas categorías incluye la vegetación arbórea, ciénaga y pantano, mangle, salitral y las áreas perturbadas. Esta interpretación espectral se hizo usando como base el valor espectral de los píxeles de la imagen, se realizó una clasificación de los mismos y posteriormente se correlacionó el valor y color del píxel con la cobertura existente en el terreno. Los análisis de distribución para la superficie se hicieron para el pH, el Arsénico (Figura 9), el mercurio (Figura 10), el cobre (Figura 11), el plomo (Figura 12), el impacto humano, la salud de la vegetación (Figura 14), la salinidad y la topografía. Estos análisis nos permiten correlacionar espacialmente la distribución de estas variables.

e. Correlación de Variables: Las correlaciones entre las variables se llevaron a cabo usando el programa de Excel. Ellas incluyen la elevación de cada uno de los puntos y la variación del pH por punto de muestreo. El programa de Excel nos permitió correlacionar linealmente casi todas las variables contenidas en la base de datos. No obstante, la mayoría de ellas no presentan correlación alguna.

II. Desarrollo de escenarios geográfico de la situación ambiental existente-

Se utilizaron los módulos de análisis de ArcView 3.2 para evaluar diferentes escenarios ambientales existentes en la zona de estudio. Se establecieron los escenarios más favorables y más apropiados para la restauración del mangle y se evaluaron las posibilidades de éxito ante diferentes condiciones. Se usaron los datos obtenidos de los muestreos, las imágenes y fotos aéreas de la década del 50, 60, 70, 80 y 90, los mapas topográfico, geológico e hidrogeológico existentes para la zona, dentro de varios otros mapas y materiales existentes en la Reserva Estuarina de JOBANERR. Los escenarios planteados fueron los

siguientes: A. La hidrogeología es el factor determinante B. Los metales pesados son el factor determinante C. La alteración del drenaje es el factor determinante D. La salinidad es el factor determinante E. La vegetación es el factor determinante. A base de la discusión de estos escenarios se establecen aquellas condiciones que serían más positivas para la restauración del manglar y aquellas que incrementándose serían muy perjudiciales al desarrollo del mismo.

III. Preparación del Plan de Restauración- Una vez determinado el mejor escenario para la restauración se procedió a realizar las recomendaciones ambientales concretas para restaurar el manglar de la zona. El Plan incluye - sobre una base racional- una serie de medidas que deben tomarse, además indica el lugar o lugares donde deben implantarse. El Plan es eminentemente espacial, es decir trata la restauración sobre la base de los análisis puntuales y espaciales realizados. El Plan ha sido preparado utilizando como base los resultados encontrados, los costos de las diferentes alternativas y las sugerencias de la administración de la Reserva Estuarina. El Plan ha recomendado sobre una base racional las alternativas de remediación que son más apropiadas (descontaminación, restablecimiento del flujo, limpieza, siembra, zonas de amortiguamiento, entre otras) para los diferentes puntos y zonas.

Resultados

Los resultados concretos de esta investigación constituyen los elementos que se tomaron como base para diseñar el Plan de Restauración para las zonas de manglar afectadas en la parte norte del Mar Negro. El Plan incluye la evaluación, la aplicación del modelo geográfico, la recomendación de alternativas para restaurar el área y la implantación de las mismas. Los resultados presentan una distribución geográfica de los factores naturales y antrópicos que están degradando el manglar. Además, contienen la validación de cada uno de los escenarios ambientales favorables y desfavorables para el crecimiento del manglar. Primero discutiremos los resultados generales para la zona de estudio y luego analizaremos los resultados según cada punto de muestreo.

Los resultados generales revelan que el promedio de la altura y/o elevación para la zona de estudio es de aproximadamente 3 pies. El valor máximo de elevación es de 7 pies, mientras que el mínimo es inferior a 0. El pH por su parte es poco ácido en la mayoría de los puntos. El promedio de acidez para la zona es de 6.1. El punto menos ácido presenta un valor de 7.0 y el de más acidez es de 5.0. Las concentraciones para metales pesados en sedimentos presentan valores que están por debajo de las guías establecidas por la Junta de Calidad Ambiental. Estos valores también están bastante por debajo de otros valores encontrados por Alers Soto (2001) en la zona Estuarina de Jobos y por David Acevedo (2001) para las lagunas de San José (San Juan) y Joyuda (Mayagüez), respectivamente.

Los valores del arsénico (As) promedian para los puntos de muestreo un total de 3.17 mg/kg. El valor de concentración más alto es de 6.1 y el más bajo es 1.6 mg/kg. El mercurio (Hg) por su parte se encuentra distribuido muy heterogéneamente por la zona de estudio. La mayor concentración es .05mg/kg, mientras que la menor es .01. El promedio del mercurio para la zona es .03 mg/kg. El plomo por su parte se concentra en 52.0 mg/kg en su valor más alto y en 3.3 en su valor más bajo. El promedio de concentración es de 18.5 mg/kg. El cobre (Cu) aparece distribuido de forma más homogénea que los otros metales por la zona de estudio. El valor más alto es de 94.0 mg/kg y el más bajo es de 42.0 mg/kg. El promedio de concentración del cobre es 63.47 mg/kg.

Las escalas establecidas para medir la salud de la vegetación y el impacto humano sobre la misma fluctuaron del 0 al 5. El promedio de valor para la salud fue de 3 y el del impacto humano, igualmente, fue de 3. El valor de máxima salud fue de 5 y el de mínima fue 0, mientras que el valor máximo del impacto humano fue de 5 y el mínimo fue de 2. La salinidad constituye la variable más importante de este estudio. La misma fue medida en los sedimentos de acuerdo a la unidad de partes por mil (ppt). El valor máximo obtenido fue de 9ppt y el mínimo fue de 0.5ppt. El promedio de la salinidad fue de 3.24ppt.

Las variables cualitativas de este estudio incluyen la descripción del punto, geología, suelos, hidrológica, vegetación y la presencia o ausencia de nematóforos. Estas variables se seleccionaron para complementar los datos de las variables cuantitativas y para poder correlacionar ambos aspectos (cualitativos y cuantitativos). La geología se refiere al tipo de formación geológica que dominaba en cada punto. Se utilizaron los cuadrángulos geológicos de la zona para poder identificar las propiedades de la formación correspondiente y luego en el terreno se validó esta correspondencia geológica. Las formaciones geológicas prevalecientes corresponden al período cuaternario, es decir son de las formaciones mas recientes, desarrolladas durante los últimos 10,000 años de evolución geológica.

La geología alterna depósitos lacustres con depósitos pantanosos (arcillosos, limosos y orgánicos). También existen depósitos aluviales traídos por las corrientes superficiales. La presencia de rasgos geológicos estructurales como la línea de falla que pasa al norte de la zona de estudio tiene un efecto significativo sobre las condiciones ambientales de la zona de estudio. Por ello habremos de construir un escenario donde el componente geológico constituya la variable dominante. Los suelos dominantes en la zona según la clasificación de ingeniería de suelo son los pantanosos y limosos; cada uno de ellos predominó en cinco puntos. Su análisis se basó en la correlación del catastro de suelo para la zona (Soil Survey for Humacao and Eastern Puerto Rico, 1977) con las muestras de suelo para cada punto. Los suelos que siguieron en orden de dominio fueron los arenosos en tres puntos y los arcillosos en dos puntos.

La condición hidrológica prevaleciente fue la de salitral (antiguo y/o actual) seguido por la de charca (antigua y/o actual). Cada una de estas condiciones predominó en cinco puntos. La condición de pantano dominó en dos puntos, al igual que la de laguna. El tipo

de vegetación dominante fue el mangle, seguido por grama y bosque secundario. El balance entre las áreas manglares reflejó que en tres de los puntos analizados el mangle estaba muerto, mientras que en cinco de los puntos estaba vivo. La mayor parte de la grama y el bosque secundario se desarrollaron en aquellas áreas donde la vegetación original había desaparecido. Solo hubo presencia de nematóforos en cuatro de los quince puntos estudiados. Esto refleja que, a pesar de los altos niveles de salinidad encontrada, existen áreas donde todavía el mangle está tratando de conseguir su estado de recuperación y crecimiento.

Al correlacionar las variables cuantitativas y cualitativas surgieron una serie de relaciones entre algunas variables que confirma la situación ambiental imperante. La elevación de cada, uno de los puntos nos indica que los puntos más altos fueron el 1, 3, 9 y 15. Estos poseen una altitud mayor a los 6 pies. Los puntos que están por debajo del nivel del mar son el 2, 8, 11 y 14. Los puntos que tienen una altitud entre 1 y 3 pies son el 4, 6, 7, 12, 13, 16, 18. La variación del pH por punto de muestreo por otra parte está representada en la figura 19. Prácticamente todos los puntos exhiben un pH mayor de cinco. Con un valor mayor de 6 están los puntos 2, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 14 y 16. Con valor inferior a 6 aparecen los puntos 1, 7, 12, 15 y 18.

Al correlacionar linealmente casi todas las variables contenidas en la base de datos encontramos que la mayoría de ellas no presentan correlación alguna. Se realizaron correspondencia entre la hidrología, los suelos, la geología con las variables químicas y biológicas y no se encontró una relación directa. Entre las posibles correlaciones lineales está la relación existente entre la vegetación con el contenido de cobre. De acuerdo a la gráfica en varios puntos analizados la salud de la vegetación está asociada de forma inversa al contenido de cobre. Es decir que las altas concentraciones de cobre encontradas no están afectando la salud de la vegetación. La altura de la copa según cada uno de los sitios de muestreo se presenta en la figura 22. Los puntos que tienen una altura de copa mayor de 15 pies son el 3, 9 y 18. Los que tienen una altura entre 5 y 10 pies son el punto 2, 7, 12 y 13. Los puntos cuya altura no alcanza ni siquiera un pie son el 1, 4, 6, 8, 11, 14, 15 y 16. Los puntos que presentan nematóforos asociados al crecimiento manglar son el 2, 7, 12 y 13 (Figura 23).

La relación entre la altura de la copa y el arsénico en algunos puntos refleja que una baja concentración de arsénico está asociada al desarrollo de una mayor altura. La relación entre la altura de la copa y las concentraciones de cobre nos señala que por lo general a mayor concentración de cobre menor es el tamaño de la altura de la copa. La relación entre la altura de la copa y el pH es muy parecida a la del cobre mientras menos ácido es el suelo mayor es la altura de la copa. La influencia de la salinidad en la altura de la copa (Figura 22) presenta una relación directa. Mientras más baja es la salinidad mayor es la altura de la copa. En aquellos lugares donde la salinidad es mayor de 4.5 ppt no crece vegetación, mientras donde es inferior a 1 ppt la altura de la vegetación está por encima de los 20 pies.

La relación entre salinidad y contenido de cobre es muy pobre, es decir no presenta una relación lineal simétrica. El desarrollo y/o salud de la vegetación y la salinidad del suelo,

por el contrario, presentan una relación cuya curva se proyecta como una de distribución normal. En algunos puntos la buena salud corresponde con la salinidad, mientras en otros la correspondencia es a la inversa. La relación entre la salinidad y el pH refleja que más de siete puntos tienen una correspondencia positiva, es decir que a baja salinidad presentan un pH relativamente bajo. Los demás puntos presentan correspondencia lineal pero de índole negativa. Los dos puntos que tienen mayor salinidad también contienen los valores de pH más alto.

Los análisis de distribución para la superficie del pH presentan dos zonas de alto pH rodeadas de una franja transitoria de un pH menor ubicada en la parte oriental de la zona de estudio. La parte centro occidental de la zona de estudio presenta un bajo pH. Por lo cual a base de estos datos refleja que el pH para toda la zona es relativamente bajo. El Arsénico (Figura 9) se concentra mayormente en la parte suroriental alrededor de los puntos 7 y 13. A partir de aquí va disminuyendo en forma gradual hacia el oeste donde vuelven a reaparecer concentraciones más altas alrededor de los puntos 4 y 8. Es posible que estas concentraciones sean causadas por el lavado de desechos químicos que contienen el material de relleno depositado en esta zona. El mercurio (Figura 10) se concentra en los puntos centrales de la zona de estudio en los alrededores de los puntos 2, 11 y 14. A partir de aquí va disminuyendo su concentración en la medida que se aproxima a la tierra. Esto permite plantear el hecho de que posiblemente el mercurio está asociado a algún contaminante que se mueve a través de los canales de agua dentro del mangle.

El cobre (Figura 11) por su parte se concentra en la parte nordeste de la zona de estudio alrededor de los puntos 9, 18 y 15, extendiéndose hasta el punto 12. La mayor parte de la zona presenta una distribución con concentraciones medias (40-80mg/kg). A base de su distribución puede plantearse que la mayor parte del cobre se distribuye por la vía aérea según los patrones dominantes del viento. El plomo (Figura 12) se concentra en la parte norte de la Laguna Cuadrada, en las proximidades de los puntos 11, 14 y 2. A partir de este centro las concentraciones del Pb disminuyen. Posiblemente, estas concentraciones provienen arrastradas por las corrientes superficiales que viajan a lo largo del Canal Central. Se descarta la posibilidad de que todos estos metales pesados constituyan aportaciones naturales de la geología imperante dado que las formaciones geológicas del área no contienen estos elementos.

La distribución del impacto humano presenta un impacto que va de “considerable” a “demasiado” en casi toda la zona. La remoción de la vegetación, la alteración del drenaje y la excavación y relleno del terreno son alteraciones muy significativas en el área estudiada. La distribución de la salud de la vegetación (Figura 14) nos permite concluir que la vegetación menos impactada ha sido aquella que está inaccesible al contacto humano. Mientras más cercana a tierra está la vegetación más deteriorada se encuentra, con excepción del bosque Jagüeyes. Esto demuestra que el proceso de mortandad es uno que básicamente va de norte a sur.

La salinidad presenta un patrón donde su concentración es alta en los extremos este (punto 16) y oeste (punto 4) y en el centro (puntos 6,11 y 2). Las concentraciones bajas

están en los puntos de tierra y en los bosques. El resto del área presenta concentraciones medias. La topografía demuestra un patrón de escorrentía proveniente mayormente de norte a sur. Una depresión topográfica que recoge las aguas se forma en la parte centro oriental de la zona de estudio. Aquí los valores topográficos están por debajo de 0.

Plan de Restauración

El Plan de Restauración a realizarse para la zona al norte de Mar Negro debe contemplar la utilización de técnicas y métodos apropiados para la zona y que hayan sido validados en otros ambientes similares. Entre las alternativas de restauración se incluye un listado de posibilidades entre las cuales aparecen las siguientes: bioremediación, zonas de amortiguamiento, inyección de agua dulce, monitoreo, experimentación del crecimiento de las plantas, desalinización de los suelos, restablecer los suelos, añadir nutrientes, disminuir descargas contaminantes, equilibrar topografía, mejorar la escorrentía, disminuir la extracción de agua subterránea, reforestar, descontaminar, restablecer el flujo, hacer limpieza de los desperdicios y sembrar, entre otras. Como todo Plan la selección de una alternativa contra otra plantea la aplicación de una serie de criterios que incluyen aspectos científicos, económicos y geográficos. Entre los científicos podemos mencionar el hecho de que la selección de una opción esté basada en estudios científicos que validen su necesidad y su aplicación. En cuanto a los económicos quizás lo más importante sea el hecho de que la alternativa pueda ser viable dentro del presupuesto asignado. Con relación a los aspectos geográficos podemos incluir el impacto al medio ambiente de la selección de una alternativa como el aspecto de mayor importancia.

La planificación de la restauración de un humedal, así como la de un manglar, puede realizarse siguiendo los diez pasos establecidos en la Guía de Restauración, Creación y Mejoramiento de Humedales de la NOAA (2000). Los pasos establecidos por NOAA son los siguientes:

1. Coleccionar los datos del pasado y del presente de la cuenca o estuario.
2. Seleccionar el lugar del proyecto.
3. Coleccionar datos del pasado y del presente del lugar a restaurarse.
4. Colectar datos de los lugares de referencia (control).
5. Desarrollar los objetivos de la restauración.
6. Hablar con las agencias, propietarios e identificar factores socioeconómicos.
7. Redefinir los objetivos y metas a la luz del dialogo anterior.
8. Decidir los métodos y técnicas para implantar los cambios.
9. Preparar diseños y protocolo.
10. Dar publicidad al proyecto.

El propósito central de la restauración del humedal del Mar Negro es recobrar las funciones y valores del ecosistema. Los objetivos principales son: restaurar la hidrología,

los suelos y el relieve del terreno para llevar la vegetación a una condición similar a la original. Esto es, a un estado donde la recuperación del mangle negro alcance niveles de crecimiento favorable a los que una vez tuvo en el pasado. Para ello va a ser necesario revertir el régimen hidrológico a condiciones lo mas parecida posible a cuando el mangle negro dominaba en la zona. Esto puede conseguirse elevando los niveles de agua fresca mediante el llenado de zanjas o canales. Se puede mejorar el flujo marear, la calidad del agua, la aportación de nutrientes en el suelo y la humedad del subsuelo disminuyendo los elementos perturbadores que están afectando la reproducción del mangle. Pueden adaptarse diferentes técnicas y métodos que aprovechan la capacidad generativa del manglar. Una de ella puede ser la experimentación en su sitio del crecimiento manglar en un substrato artificial. Ello implica la remoción del substrato pobre y su reemplazo por un substrato más rico en nutrientes y humedad. Esta técnica ha sido efectiva en la propagación del mangle negro.

Las estrategias de restauración para el área norte de Mar Negro a partir de la metodología establecida por NOAA (2000) ubica los resultados de este proyecto en la posición de haber cumplido hasta el presente con los primeros cinco pasos de la fase de planificación. Ya se ha colectado la información pasada y presente de la cuenca y de la zona de estudio. Se ha seleccionado el lugar o zona para la restauración, también se ha establecido una zona de referencia o control ubicada al lado oriental del Centro de Visitante de la Reserva de Bahía de Jobos y establecido los objetivos de la restauración. Aun resta coordinar con las agencias gubernamentales (federales y estatales), dialogar con vecinos, propietarios y con la comunidad, e identificar los factores socioeconómicos que intervienen en el proceso. Además, deben redefinirse los objetivos y metas a la luz del dialogo anterior, decidir los métodos y técnicas para implantar los cambios sugeridos, preparar los diseños y protocolos de las alternativas y dar publicidad al proyecto.

Para llevar a cabo el Plan de Restauración para el área ubicada al noroeste del Mar Negro se recomiendan las actividades y tareas específicas contenidas en la Tabla siguiente. La tabla además de las técnicas aplicables especifica el lugar, zona o los puntos donde debe llevarse a cabo la actividad, la fecha en que podría iniciarse y el personal responsable de la actividad. Para cada actividad se presenta la justificación de la misma y la contribución esperada para la restauración del ecosistema. La síntesis espacial del Plan de Restauración aparece representada en el Mapa siguiente (Figura 32).

Tabla: Actividades de Restauración

Técnica	Responsable	Lugar (Puntos)	Fecha
1. Restaurar cuerpos de agua		1,15,6, 3	Junio 2003
2. Nivelar topografía		Lagunas y canales	Junio 2003
3. Aportar agua dulce		Toda la zona	Junio 2003
3. Controlar extracción de agua		Acuífero	Junio 2003
4. Restaurar		9,6,11, canal central,	Agosto 2003

escorrentía		sur de Jagüeyes	
5. Abrir túneles		Camino norte, dique	
6. Construir “buffer” vegetativo		Norte de camino	Octubre 2003
7. Remover terreno		4, 15, sur Jagüeyes	Agosto 2003
8. Añadir “topsoil”		Alrededor lagunas	Agosto 2003
8. Construir “plots” de mangle		4,7, sur de Jagüeyes,	Septiembre 2003
9. Hacer terrazas y franjas de mangle		4,6, Alrededor de lagunas y canales	Enero 2004
10. Crear micro habitas		Lagunas y canales	Enero 2004
11. Monitoreo continuo		Toda el área	Todo el año

La restauración de los cuerpos de agua incluye la habilitación de tres antiguas charcas y/o lagunas que han sido rellenadas y el mejoramiento del sistema de drenaje de los canales de la zona de estudio. La mayor de las lagunas a restaurarse es la ubicada al nordeste (Figura 32) alrededor de los puntos 1 y 15. De acuerdo a las fotos aéreas previas al 1990 esta laguna siempre ejerció un papel fundamental en el recogido de las aguas que bajaban por la porción nordeste de la zona de estudio. La recuperación de esta laguna ayudaría a mantener el balance hidrológico de los suelos alrededor y contribuiría a disminuir el exceso de salinidad que se concentra en esta zona. La rehabilitación de esta laguna también va a requerir que se remueva el terreno de relleno depositado, se deposite una capa de “topsoil” y se nivele la topografía. Luego de habilitada la geohidrología de la laguna se pueden preparar varias terrazas para el sembrado de mangle para finalmente crear varios microhabitas que permitan reintroducir especies animales. Esta laguna debe ser la primera en restaurarse y debe constituir un proyecto piloto para la restauración total del ecosistema. El nivel de éxito de la restauración de esta primera laguna sería un buen indicador de las posibilidades reales de restauración de la totalidad del ecosistema.

Las otras dos lagunas que pasarían por un proceso de restauración similar a la del nordeste son las que ubicarían al norte del punto 12 y alrededor del punto 6 (Figura 32). En ambas habría que nivelar la topografía, airear el suelo, remover los escombros y añadir suelo nuevo (“topsoil”). De acuerdo a las fotos aéreas previas a 1990 ambas charcas recogían de forma natural las escorrentías procedentes del lado norte. Al igual que en la charca del nordeste una vez restaurada la geohidrología de estas charcas es factible sembrar varias franjas de mangle negro a su alrededor para luego introducir especies animales propias del ecosistema. Con la restauración integral de estas tres lagunas se crea un balance hidrológico favorable para disminuir la salinidad y para mantener humidificado el subsuelo, reduciendo la subsidencia o hundimiento del terreno. Ello debe ayudar grandemente a la recuperación de la vegetación en la zona, pues está demostrado por nuestras observaciones de campo que con la presencia de agua dulce la vegetación del área y en particular el mangle negro se recupera.

Para completar la restauración hidrológica los canales existentes en la zona deben ser restaurados mediante limpieza y aumento en su profundidad (Figura 32). Estos canales además de retener el agua de lluvia recogen las escorrentías ayudando a mantener un mayor nivel de agua en el sistema. De acuerdo a los datos colectados estos canales ayudan a reducir los niveles de salinidad e inclusive permiten el crecimiento de manglares nuevos que se desarrollan a su alrededor. Para el canal que está al sur del bosque Jagüeyes se propone un proyecto piloto para la siembra de mangle y la creación de un microhabitat. Este proyecto de ser exitoso se podría extender a las márgenes de otros canales existentes. La restauración de estos canales debe hacerse con mucho cuidado, evitando destruir la vegetación manglar que está en los alrededores.

La restauración de la escorrentía se facilita al nivelar la topografía (Figura 32). Siguiendo los contornos topográficos es posible asegurarse que el agua fluya naturalmente en las líneas de escorrentías ubicadas al sudoeste del punto 9, a lo largo del Canal Central, del punto 6 al 11 y al sur de Jagüeyes. La corrección de la escorrentía consistirá en facilitar un drenaje libre, pausado y en la dirección sur apropiada. El uso de túneles en áreas donde se han levantados obstáculos, como ocurre en la porción del camino norte y a lo largo del dique de la termoeléctrica, facilitaría el flujo del agua de un extremo al otro. Ello aportaría mayor agua fresca al sistema ayudando a su recuperación. Antes de realizar esta actividad la calidad del agua a lo largo del dique debe ser analizada. La creación de un buffer vegetativo ubicado en la zona norte central ayudaría grandemente a filtrar las aguas de escorrentía que provienen de las zonas agrícolas. También serviría de base para la creación de un microhabitat en la zona de estudio. Este buffer puede plantearse como una extensión del bosque de Jagüeyes o como un hábitat nuevo.

La restauración de la topografía además de ser necesaria en los alrededores de las lagunas y canales también es fundamental en la zona baja ubicada entre el Canal Central y el punto 6 (Figura 32). Ello ayudará a un mejor flujo y a la recuperación del manglar en esa zona. La remoción del terreno por otra parte es necesaria en los puntos 4, en el canal al sur de Jagüeyes y al sur de la laguna del nordeste. Ello ayudará a la limpieza del suelo y a su desalinización. Estas áreas requieren de la adición de “topsoil” para luego poder sembrar mangle.

El Plan propone la preparación de varios lotes o “plots” para la siembra de mangle. Estos estarían ubicados en la periferia del punto 7 localizada al sudeste de la zona de estudio y al sur de Jagüeyes (Figura 32). Estos lotes serían preparados con condiciones óptimas de suelo, topografía, salinidad e hidrología para asegurar una mayor probabilidad de crecimiento del mangle. Los lotes estarían ubicados en áreas bajas donde las marejadas más altas bañan con facilidad las plantas. Ello asegura un flujo continuo de agua dulce y salada típica de este tipo de estuario.

Gran parte del éxito de este Plan depende de que se pueda mantener un flujo de agua dulce constante. Para ello debe contemplarse la posibilidad de traer agua de otros puntos de la cuenca hidrográfica y/o de establecer un sistema de lavado y riego. Aunque el Plan está diseñado para capturar y retener en el sistema la mayor cantidad de agua posible sería de gran ayuda irrigar la zona con agua proveniente de fuentes externas al acuífero.

Simultáneamente deben reducirse las extracciones de agua que se están llevando a cabo en los pozos ubicados en la parte norte de la zona de estudio. La conservación del recurso agua en el acuífero del sur ayudará a la recuperación del ecosistema. El monitoreo continuo de los parámetros ambientales antes, durante y después del desarrollo de este Plan ayudará a medir el impacto de los cambios que se están introduciendo. Para el monitoreo de los parámetros ambientales básicos se podrían usar los mismos puntos que se utilizaron para el muestreo. También podrían agregarse otros puntos para poder evaluar actividades específicas del Plan.

Luego de haber evaluado ambientalmente la zona de estudio, de haber construido los escenarios negativos y positivos con relación al crecimiento y mortandad del manglar hemos de concluir que esta zona tiene muy altas probabilidades de recuperación. El Plan de restauración que se sometió está basado en los datos ambientales analizados, en la experiencia de campo acumulada y en lo establecido en la literatura científica del presente. El Plan será de gran beneficio para la disminución de la salinidad (Figura 33), restaura las áreas afectadas por la actividad humana (Figura 34) y contribuye a mejorar las áreas donde la vegetación se encuentra más deteriorada (Figura 35). Esperamos mediante la aplicación de este Plan poder contribuir al mejoramiento de éste valioso ecosistema del Mar Negro.

Referencias

1. Acevedo Figueroa David, (2001), *Comparative Analyses of Heavy Metals in Sediment and Water from Two Coastal Lagoons in Puerto Rico*, Tesis MS, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Ciencias Médicas, Departamento de Salud Ambiental.
2. Alers Soto David, (2001), Determinación Espacial de Metales Traza en *Crassostrea Rhizophorae* de la Zona Estuarina Tropical en la Reserva Nacional, Bahía de Jobos, Tesis MS, Inter American University, San Germán, Departamento de Química.
3. Altieri Carlos y Rodríguez C., (2001), *Atrazine, Alachlor and 2,4-D Levels in Water Samples of Jobos Bay National Estuarine Research Reserve- JBNERR*, Department of Environmental Health, Medical Sciences Campus, UPR.
4. *ArcView GIS 3.2*, 1998, ESRI, Redlands, California, p.370.
5. *ArcView, Image Analysis*, 1998, ESRI, Redland, California, p.210.
6. Berryhill Henry, (1960), *Geologic of the Central Aguirre Quadrangle, Puerto Rico*, USGS, Map I-318, Washington D.C.
7. Briggs Reginald y Akers P., (1965), *Hidrogeologic Map of Puerto Rico and Adjacent Islands*, USGS, Atlas HA-197, Washington D.C.
8. Cintron Gilberto y Novelli S., (1984), *Methods for Studying Mangrove Structures*, Unesco, Monographs on Oceanography Methodology, pp. 91-113.

9. Cintron Molero, G. and Y. Schaeffer Novelli, (1992) *Ecology and management of New World mangroves. In: Coastal Plant Communities of Latin America*, Academic Press, SanDiego, U.S.A., p.233-258 ,
10. City Green 4.0, (2000), American Forests, Washington D.C., p.159.
11. Demopoulos Amanda, (2001), *Recolonizacion y Sucesión de la Fauna del Manglar después de los Disturbios de Huracanes*, JOBNERR, Guayama, Puerto Rico.
12. "Ecology and Management of Mangrove Restoration and Regeneration in East and Southeast Asia, Proceedings of ECOTONE IV Regional Seminar , 18-22 Jan. '95, UNESCO/National MAB Committee, held in Surat Thani, Thailand,
13. Estados Unidos y el Departamento de Transportación y Obras Públicas de Puerto Rico, *Fotografía aéreas de Bahía de Jobos 1937, 1977, 1985, 1997, 1999*, Preparadas por el Servicio Geológico de Estados Unidos, División de Fotogrametría, Escala 1:20.000.
14. Gilmore, R.G. and S.C. Snedaker, (1993), *Mangrove forests*. In: Biodiversity of the Southeastern United States: Lowland Terrestrial Communities, pp. 165-198 (W.H. Martin, S. Boyse and K. Echernacht, eds.). John Wiley, New York.
15. Gomez, E.D. *Natural stressors in the mangrove ecosystem*. Bakawan, 9-11.
16. Goudie Andrew (1981), *The Human Impact*, MIT Press, Cambridge, Massachusett.
17. Glover Lynn, (1961), *Preliminary Geologic Map of the Salinas Quadrangle, Puerto Rico*, USGS, Map I-337, Washington D.C.
18. Guía de Restauración, Creación y Mejoramiento de Humedales de la NOAA (2000).
19. Jobos Bay National Estuarine Research Reserve, *Management Plan*, Department of Natural Resources and National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington D.C., 2000.
20. PNUMA, (1995), *Memorias del II Simposio Internacional de Humedales*, Ed. Academia, Habana, Cuba, 215p.
21. Ruetzler,K.and Feller I, (1996), *Caribbean mangrove swamps*. Scientific American 274: 94-99.
22. Seguilot Barbosa J., (1986), *Interpretación Aérea de los cambios geográficos ocurridos en la Bahía de Jobos Guayama, Puerto Rico*. Science-Ciencia v.13 no.1
23. Soil Survey for Humacao and Eastern Puerto Rico (1977), Soil Conservation Service, US Department of Agriculture and University of Puerto Rico, p.103.

24. Web Sites-Internet

[EPA > Wetlands > River Corridor and Wetland Restoration](#)

River Corridor and Wetland Restoration Recent Additions | Contact Us | Print
Version Search: EPA Home > Water > Wetlands, Oceans and Watersheds >
Wetlands > River Corridor and Wetland Restoration Bi-Weekly Update ORD/MAIA
Inventory Restoration
www.epa.gov

2. **[Wetland Restoration Bibliography](#)**

A searchable, living bibliography intended to provide scientists, managers,
students, and policy-makers with convenient access to current information on
wetland restoration
www.npwrc.usgs.gov

3. **[West Page Wetland Restoration](#)**

WEST PAGE SWAMP WETLAND RESTORATION PROJECT Bunker Hill, ID.
Introduction: Off the slopes of Bunker Hill, into wetlands Bunker Hill in the Coeur
d'Alene River Basin in Idaho is the second largest Superfund site in the US.
faculty.washington.edu

4. **[The E Connection: Wetland Restoration](#)**

What images do the words swamp, bog, marsh or wetland bring to mind? Do you
think of leeches lurking in dark waters, carnivorous plants looking for a meal, or
even bog monsters rising from the muck? Write down as many creatures and
plants that you
www.ktca.org

5. **[Wetland Restoration Isn't a Factor In Long-Term Plan for Kekaha](#)**

(c) 2001 Environment Hawai`i, Inc. Volume 11 Number 8 (February 2001)
Wetland Restoration Isn't a Factor In Long-Term Plan for Kekaha
www.environment-hawaii.org

6. **[Grassy Point Wetland Restoration](#)**

Learn about what's being done to preserve this habitat in the St. Louis River
Estuary. Offers an explanation of the area's importance, as well.
www.d.umn.edu

7. **[Division of State Lands || Wetland GA Info](#)**

Information About Administrative Rule Print an Application Form General
Authorizations Sample Drawings Direct Links Dock Registration Easements
General Authorizations Land Management Mining Navigability Rangeland
Removal-Fill Waterway Leasing
statelands.dsl.state.or.us

8. **[WETLAND RESTORATION](#)**

WHAT IS A WETLAND RESTORATION? The purpose of wetland restoration is to
restore the functions and values of wetland ecosystems that have been altered for
Areas that were wetlands in past but are now cropped or pastured are ideal for
this practice.
www.michigan.gov

9. **[Mid River Wetland Restoration, Native Plants, Mitigation Bank Credits](#)**

Mid River Wetland Restoration specializes in wetland restorations to restore and

enhance wetland habitat quality for dependent flora and fauna
www.mrwetlandrestoration.com

10. **[Buy A Case for Wetland Restoration at Amazon.com](#)**
Shop at Amazon.com where you will find a huge selection of books at great prices. Shop here for A Case for Wetland Restoration and find more books by Donald L. Hey. For a limited time, get free shipping on orders over \$25!
www.amazon.com
11. **[Prairie Pothole Joint Venture Projects](#)**
Prairie Pothole Joint Venture 1999-2000 Project Catalog Table of Contents Nearly all of the wetland/grassland communities in Iowa's prairie pothole region have been converted for agricultural use.
www.greatplains.org
12. **[Wetland Restoration of Prior Converted Cropland](#)**
Wetland Restoration of Prior Converted Cropland Wetland losses resulting from conversion to agriculture and other land uses has generated considerable interest in wetland restoration.
www5.bae.ncsu.edu
13. **[Wetland Science Institute Wetland Delineation](#)**
Wetland Science Institute (WLI) Patuxent Wildlife Research Center 12311 Beech Forest Road Laurel, MD 20708 Billy M. Teels, Director For more information about the Wetland Science Institute, contact Billy_Teels@usgs.gov.
www.pwrc.nbs.gov
14. **[LAc coast](#)**
Global Climate Change and Its Impact on Louisiana's Coastal Wetlands HEAT, HEAVY RAINS and occasional storms, floods and droughts have always been part of coastal Louisiana's climate.
www.lacoast.gov
15. **[The Ramsar STRP resources on Wetland Restoration](#)**
The Ramsar Convention on Wetlands The Ramsar Convention's resources on Wetland Restoration The STRP Expert Working Group on Wetland Restoration
www.ramsar.org