

Aplicación de herramientas de geoprocésamiento para el diagnóstico ambiental. Experiencia de las cuencas hidrográficas de los ríos Tarará, Itabo y Guanabo. Ciudad de La Habana, Cuba.

MSc Ramiro Reyes González, MSc Carmen Luisa González Garciandía e Ing. Alicet Molina Urrutia

Instituto de Geografía Tropical
Cuba

reyes07978@alumni.itc.nl

clgonzalezg@yahoo.es

alicet@geotech.cu

Resumen

El tema seleccionado para el desarrollo de este trabajo se encuentra entre las líneas estratégicas priorizadas para la investigación científica y el desarrollo tecnológico del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) para los próximos años, en particular de la Agencia de Medio Ambiente (AMA) de Cuba; pues enfoca los problemas ambientales de los ecosistemas frágiles costeros, que constituyen además centro de investigación de múltiples organizaciones académicas y financieras internacionales.

Tiene como objetivo principal: identificar los principales problemas ambientales que presenta el territorio de estudio, partiendo de: (1) Una caracterización físico-geográfica y socioeconómica que incluye una síntesis de sus aspectos geográficos y donde se determina la dinámica físico-geográfica y socio-económica del territorio; (2) Crear una base de dato espacial y alfanumérico que facilite la toma de decisión. A partir de la información recopilada en las diferentes entidades y de visitas al terreno, se pudo verificar la situación real del área de estudio. Además, de procesar toda la información recopilada en el Sistema de Información Geográfica ILWIS vs. 3.3.

En relación a proyectos realizados en esta área de estudio, la novedad del tema radica en hacer uso de determinados módulos de análisis espacial y de procesamiento digital de imágenes de satélite que lleva incorporado el Sistema de Información Geográfico ILWIS Vs. 3.3 aplicados al análisis, procesamiento y organización de los datos espaciales en el ejemplo del área costera acumulativa y su área de influencia con la finalidad de facilitar el proceso de tomas de

decisiones de los órganos locales de la administración en el contexto de la protección ambiental.

Entre los resultados principales se destacan los mapas de problemas y condiciones ambientales en las cuencas hidrográficas y por Consejo Popular.

Palabras claves: cuenca hidrográfica; diagnóstico ambiental; problemas ambientales; condiciones ambientales; herramientas de geoprocésamiento; zona costera; ecosistema frágil costero.

Aplicación de herramientas de geoprocésamiento para el diagnóstico ambiental. Experiencia de las cuencas hidrográficas de los ríos Tarará, Itabo y Guanabo. Ciudad de La Habana, Cuba.

El ejercicio incontrolado de múltiples actividades en las cuencas hidrográficas entraña inevitablemente la competencia por la explotación de los recursos, los cuales no son ilimitados. Además, si se ignora la dinámica de estas zonas sus consecuencias pueden ser catastróficas (pérdidas de vidas humanas, bienes e inversiones). Para que estas zonas conserven su productividad y sus funciones naturales hay que tener en cuenta su planificación y administración.

El análisis de los problemas ambientales de las cuencas hidrográficas, constituye una de las líneas estratégicas priorizadas para la investigación científica y el desarrollo tecnológico del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), y en particular de la Agencia de Medio Ambiente (AMA) de Cuba. Además, es una línea de investigación de la Vice-dirección de Medio Ambiente del Instituto de Geografía Tropical y la Comisión Nacional de Cuencas Hidrográficas, asimismo este tema esta en consonancia con las estrategias que desarrolla la Defensa Civil Cubana en estas áreas.

La zona de estudio seleccionada en este trabajo abarca las cuencas hidrográficas de los ríos Tarará, Itabo y Guanabo, la cual limita al Norte con el Estrecho de la Florida, al Sur y al Este con Provincia Habana, al Oeste con el parteagua de la cuenca de Bacuranao. La selección de la misma se llevo a cabo teniendo en cuenta los siguientes elementos: alta diversidad (mosaico) físico-geográfica, geosistemas con límites precisos, conjunto de fenómenos agrupados en un área relativamente pequeña, su orientación Norte Sur implica cierta zonalidad, cercanía al mar, diferencia altitudinal bien definida, dimensiones adecuadas, desarrollo turístico, agropecuario y forestal y buen nivel de conocimientos sobre los cambios históricos en los medios natural y socioeconómico. Además, los fenómenos meteorológicos extremos ocurridos en los últimos años demuestran la fragilidad de estas cuencas.

Con enfoques y procedimientos se han realizado diferentes trabajos en el área de estudio lo que contribuyeron a profundizar en la base conceptual y metodológica de los estudios ambientales en la solución de los problemas del medio ambiente y el desarrollo sostenible en áreas seleccionadas por su interés turístico. Como resultado de estas investigaciones se

detectaron frecuentes inundaciones en las proximidades de la línea de playa, importantes deficiencias en cuanto al abastecimiento de agua, y graves riesgos ambientales de carácter catastrófico que pueden ocurrir debido al paso de los cursos de los ríos Itabo y Guanabo a través de los núcleos de población existentes.

Contando con la información de proyectos precedentes y teniendo en cuenta que la zona costera del área de estudio constituye el principal Polo Turístico de sol y playa de Ciudad de La Habana, se decidió realizar un nuevo diagnóstico ambiental del área de estudio con el propósito de complementar, actualizar y profundizar en la problemática ambiental de las cuencas hidrográficas antes mencionadas mediante la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas de procesamiento de imágenes de satélite y facilitando con esto el proceso de toma de decisiones. El procedimiento aquí utilizado puede ser aplicado a otras cuencas hidrográficas de Cuba y de otros países tropicales.

De aquí que este resultado tiene como objetivo principal: identificar los principales problemas ambientales que presentan las cuencas hidrográficas de los ríos Tarará, Itabo y Guanabo a partir del procesamiento de la información en el SIG ILWIS Vs. 3.3.

Para dar cumplimiento a estos objetivos se realizaron las tareas siguientes:

- A) Caracterización físico-geográfica que incluye los diferentes componentes del medio como son: el relieve, suelo, vegetación, fauna, agua y clima.
- B) Caracterización socioeconómica que incluye una síntesis de sus aspectos geográficos y donde se determina la dinámica socio-económica del territorio.
- C) Análisis de la variabilidad de la línea de costa y la determinación de peligros potenciales de inundación y erosión.
- D) Levantamiento de los principales problemas ambientales detectado con el SIG ILWIS Vs.3.3 y otros problemas ambientales detectados por métodos tradicionales como recorridos de campo, entrevistas y revisiones bibliográficas.
- E) Crear una base de dato espacial y alfanumérico que facilite la toma de decisión.

Para ello, se realizó una amplia revisión bibliográfica, se recopiló información de diferentes entidades (Consejos Populares, Facultad de Geografía de la Universidad de la Habana; Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF), Direcciones Municipales de

Planificación Física, Museo de Guanabo, Instituto de Geografía Tropical, etc.), se realizaron trabajos de campo y se entrevistaron a varios actores locales. Además, de procesar toda la información recopilada en los SIG.

Se contemplo como unidad de análisis la cuenca hidrográfica, teniendo en cuenta dos elementos fundamentales:

1. En la cuenca cualquier proceso controlado gravitacionalmente, ya sea sólido o líquido, generado dentro de su perímetro, seguirá canales conocidos o predecibles y sólo trascenderá este límite por una vía conocida. Esto la hace uno de los marcos más adecuados para el estudio, predicción y control de cualquier proceso de índole gravitacional como puede ser el escurrimiento, la erosión y la sedimentación, entre otros; que son los rectores de su funcionamiento, y están sustentados en los factores geólogo-geomórficos e hidroclimáticos, cuyo desarrollo, fuera de los niveles normales, pueden ocasionar efectos muy negativos en algunas actividades socio-económicas e incluso hacer peligrar la vida del hombre.
2. En el tercio bajo de las cuencas hidrográficas de la región de estudio se localiza el ecosistema frágil costero acumulativo Tarará-Rincón de Guanabo el cual constituye la zona de mayor relevancia socioeconómica y natural. Es por ello que cualquier cambio en los tercios bajo, medio o alto de esta unidad genera impactos ambientales y las alteraciones en sus componentes.

La cuenca hidrográfica se define como el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar.

La valoración ambiental de la zona de estudio se ha realizado de acuerdo a la situación actual del área, teniendo en cuenta los peligros potenciales de inundación pluvial, por rompimiento de presas, penetración del mar y de erosión, conjuntamente con el uso del territorio desde el punto de vista turístico, urbano, forestal y agropecuario, y su impacto en la sobreexplotación de los recursos agua y suelo, pero a su vez, se tuvieron en cuenta otros elementos, tales como la evaluación de los peligros en las áreas urbanas, urbanizables y no urbanizables, centrado mayormente en la costa, y por la subutilización de la tierra por expansión del Marabú

(*Dichrostachys Cinerea*), una planta invasora que aunque sea considerada como fuente de alimentación ganadera, está afectando la producción de pastos para el ganado, así como las zonas de bosque, que en la actualidad ocupan menor extensión que el bosque original.

Para la identificación de los principales problemas ambientales se consideraron las afecciones que los impactos ambientales negativos resultantes de las actividades socio- económicas y los peligros potenciales de inundación por rompimiento de presas, pluvial y penetración del mar, así como el peligro de erosión potencial producen sobre:

- La salud y calidad de vida de la población expuesta.
- Actividades económicas priorizadas, con especial atención al desarrollo del turismo y actividades agropecuarias, producto del deterioro del medio natural, social y construido.
- Ecosistema de alta fragilidad e importancia económica y social, significando en particular las playas, manglares, y áreas naturales protegidas.
- Medio urbano, áreas urbanizables y no urbanizables.

Con el propósito de ayudar a la toma de decisiones a nivel local se superpusieron los mapas “Consejos Populares” y “Principales problemas ambientales por cuencas hidrográficas”, identificándose qué grupo de problemas ambientales afecta cada unidad administrativa para la solución o mitigación de estos.

En relación a proyectos realizados en esta área de estudio, la novedad del tema radica en hacer uso de determinados módulos de análisis espacial y de procesamiento digital de imágenes de satélite que lleva incorporado el SIG ILWIS Vs. 3.3 aplicados al análisis, procesamiento y organización de los datos espaciales en el ejemplo de cuencas hidrográficas, con la finalidad de facilitar el proceso de tomas de decisiones de los órganos locales de la administración en el contexto de la protección ambiental. Es preciso aclarar que se cuenta con la licencia de este SIG.

El ILWIS se considera un paquete de SIG y Percepción Remota, debido a que posee capacidades de procesamiento de imágenes, sus siglas significan Integrated Land and Water Information System. El procedimiento seguido en este SIG se basa en lo fundamental en los

libros “ILWIS 3.0 Academic, User’s Guide” y “Principles of Geographic Information Systems” y “Principles of Remote Sensing”, de la serie “ITC Educational Textbook Series” del “Internacional Institute of GeoInformation Science and Earth Observation”, en Enschede, Holanda.

Alguno de los procedimientos empleados fueron el análisis de imágenes de satélite, y aplicaciones SIG para el estudio de la dinámica de la línea de costa, actualización del mapa de “Uso del suelo”, determinación del índice normalizado de vegetación, calculo de la variación en tierra de la surgencia de tormenta mediante el coeficiente de variación de la surgencia (Método empleado en el Modelamiento del peligro por penetraciones del Mar en Bangladesh, ILWIS Vs. 2.1 Applications guide, ITC, 1997), determinándose así, la amenaza de inundación por penetraciones del mar. Se elaboraron mapas geomorfométricos de análisis hidrológico con el fin de determinar las áreas donde se acumulan los sedimentos, la potencia de arrastre de las corrientes, áreas de mayor potencial de humedecimiento del suelo, así como se analizaron parámetros geomorfológicos como la orientación de las pendientes, dirección de flujo, ángulo de inclinación y formas de las pendientes, disección vertical etc., para determinar áreas potenciales de erosión y acumulación, válidos para definir: zonas de conservación, protección y uso del suelo. La aplicación de estas técnicas y procedimientos contribuyeron a complementar la información ofrecida por los estudios precedentes realizados por otros autores, con nuevos datos sobre los problemas ambientales en el territorio de estudio.

Para llevar a cabo este resultado se ha establecido un procedimiento de estudio soportado en un SIG con los datos que, o bien se disponían por los proyectos previos, o se ha procedido a su recopilación durante la elaboración del mismo, como ha sido el caso de la captura de datos sobre las áreas de entrenamiento usados para el Análisis Digital de Imágenes y la generación del modelo digital del terreno con una resolución espacial es de 10 metros.

Procedimiento de estudio

Para una mejor comprensión de los métodos y procedimientos que se llevaron a cabo en el presente trabajo se confecciono el flujograma siguiente:

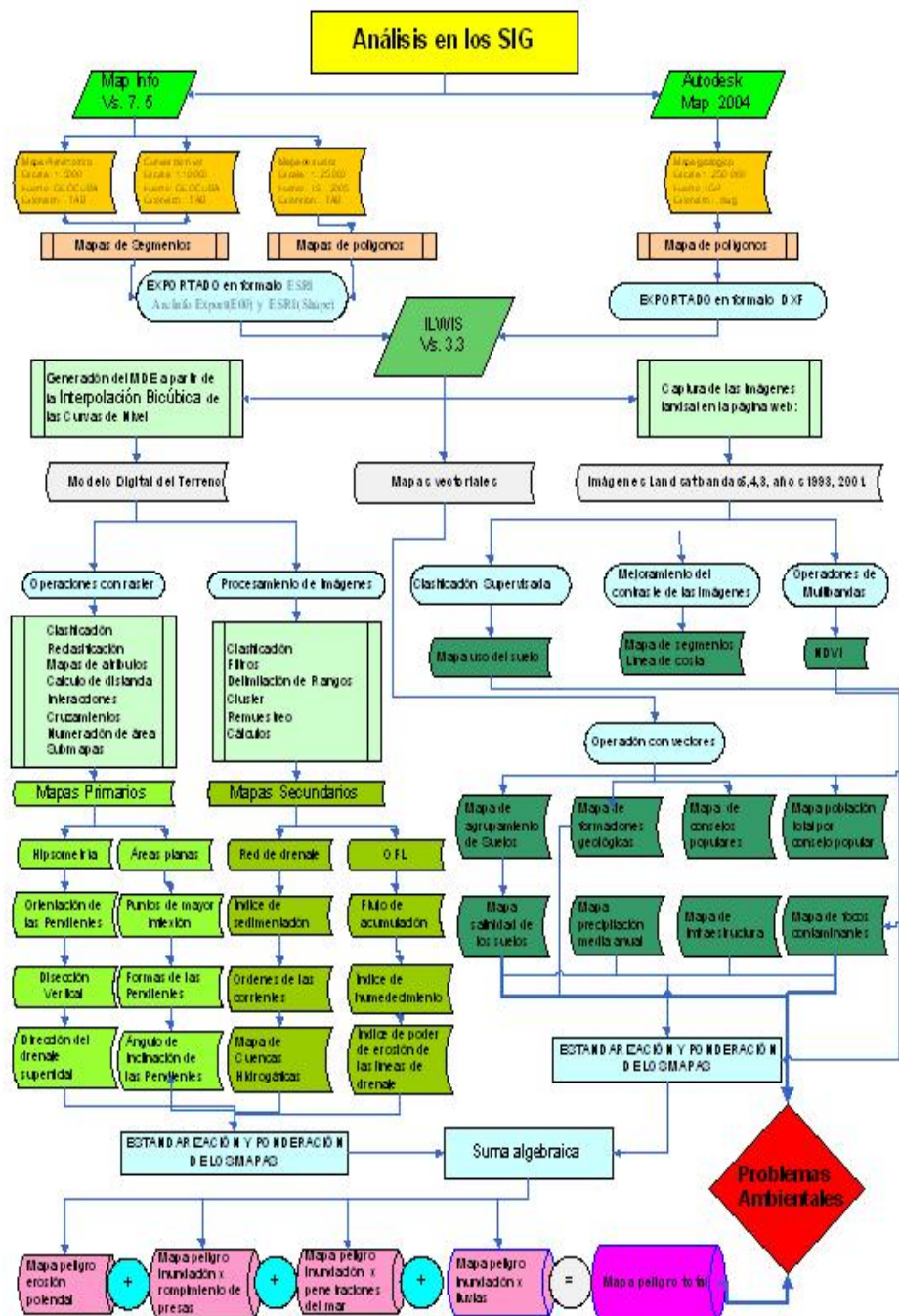


Figura.1. Flujoograma del procedimiento general de estudio en los Sistemas de Información Geográficos.

Como se muestra en la Figura.1 se emplearon mapas bases procedentes de los SIG Map Info Vs 7.5 y Autodesk Map 2004 con formato TAB y dwg.

- Mapa “Planimétrico” con las capas de carreteras, calles y caminos, escala: 1: 5000, formato vectorial, mapa de segmentos y polígonos.
- Curvas de nivel escala 1:10 000, fuente GEOCUBA
- Mapa “Geológico”, el cual contenía las principales formaciones geológicas del área de estudio, fuente Instituto de Geología y Paleontología.

Para usar estos datos digitales en ILWIS, los mapas externos necesitan ser importados en un formato compatible. En el modulo Importar, se seleccionó el método *GeoGateway*. Esta vía incluye acceso a imágenes, vectores, atributos, proyecciones y otra información auxiliar de utilidad para este SIG.

De esta forma quedaron definidos tres tipos de datos de entradas:

1. Modelo Digital del Terreno, con interpolación bicúbica, con una resolución de 10 metros generado a partir del mapa de curvas de nivel
2. Imágenes de Satélite, con una resolución espacial de 28.5 metros, descargado de Internet
3. Mapas vectoriales, con escalas de trabajo que oscilan entre 1: 5000 hasta 1: 25 000.

Modelo Digital del Terreno

EL Modelo Digital del Terreno (MDT) fue generado a partir de la Interpolación bicúbica del mapa de segmentos escala 1: 10 000. Este se confecciono partiendo de dos supuestos básicos. El primero es que los modelos digitales del terreno son útiles. Esto se debe, sobre todo, a que la introducción de medios informáticos en un medio antes estudiado en "formatos analógicos", permite el planteamiento y la resolución de problemas mediante enfoques cualitativamente diferentes.

El segundo supuesto es más bien una realidad: los MDT son aún poco utilizados por los equipos investigadores, especialmente en Cuba.

Los modelos digitales del terreno se han definido como *un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio.*

A partir de los MDT es posible construir un conjunto de modelos digitales que representan variables derivadas directamente de la topografía (datos y relaciones topológicas entre los mismos), sin intervención de datos auxiliares o información externa.

De las principales variables implicadas en estas aplicaciones, la de uso más general es probablemente la *pendiente*, aunque también son usadas con frecuencia en geomorfología la *orientación*, *curvatura*, *elevación*, *convexidad* y *relieve*.

En este trabajo se determinaron las variables morfométricas siguientes:

- Hipsometría
- Formas de las Pendientes
- Orientación de las Pendientes
- Áreas planas
- Ángulo de Inclinación de las Pendientes
- Dirección del drenaje superficial
- Disección Vertical
- Puntos de mayor inflexión

Este grupo de variables morfométricas fueron clasificadas como mapas primarios haciendo referencia a que son el resultado de la primera derivación de los modelos digitales del terreno.

Las variables secundarias agrupan una serie de índices y mapas hidrológico-geomorfológico obtenidos a partir del modulo de análisis hidro-geomorfológico del ILWIS y que fueron llamados mapas secundarios en vistas a que son el resultado de una segunda derivación de las variables morfométricas clásicas o primarias y que para su obtención se necesita la aplicación de diferentes filtros.

Los mapas secundarios son:

- Índice de Humedecimiento o saturación
- Índice de Sedimentación
- Índice del poder de erosión o arrastre de las corrientes de drenaje
- Flujo de acumulación
- Red de drenaje
- Ordenes de las corrientes
- Cuencas de drenaje

Estas variables morfométricas ponderadas y clasificadas en diferentes grupos, condujeron a determinar áreas potenciales de erosión, acumulación e inundación.

Imágenes de Satélite

Se uso dos tipos de clasificaciones de imágenes, la clasificación supervisada y la no supervisada.

La clasificación supervisada se realizó para obtener el mapa “Uso de suelo” a una escala próxima a 1: 30 000 (tamaño del píxel es de 28, 5 metros), generado a partir de las imágenes de satélites Landsat, 1993 y 2001, con la combinación de bandas 4, 5 y 3. Para una aproximación más rápida en la identificación de las clases el trabajo se auxilio en el mapa digital “Planimétrico de Ciudad de La Habana” 1:20 000 (GEOCUBA) y el mapa “Uso de suelo” realizado por DPPF de Ciudad de La Habana del año 1990. Finalmente se realizó una expedición de campo para la comprobación de las clases delimitadas, permitiendo una actualización de la información del área.

Los requerimientos que necesitó esta clasificación supervisada fue que la imagines seleccionadas pudieran ser identificadas (e.g. en composición de color), utilizando una lista de mapas (bandas 4, 5 y 3), con un dominio de clases que contenía el nombre de cada uno de los grupos definidos a partir de la muestra de píxeles seleccionados y que estos pudieran ser representativos de toda la imagen. Lógicamente cada uno de estos mapas (bandas) se georeferenciaron con un mismo sistema de georeferencia (Cuba Norte).

Mediante clasificación supervisada se definieron las clases en grupos de píxeles, cada una de estas clases contenían un grupo de píxeles con valores espectrales similares. Basados en la muestra de estos píxeles o píxeles de entrenamiento, se caracterizaron en ciertas clases los usos del suelo del área de estudio: arbustos y maleza, arenas, área urbana, bosque, cantera, cultivos, frutales, pastos y cuerpos de agua.

La clasificación no supervisada (Clustering, or unsupervised classification) se aplicó en el Sector Rincón de Guanabo para los años 1956(a),1962(b), 1970(c), 1980(d), 1989(e) y 1997 (f) ; basados en el agrupamiento estadístico de los datos utilizando los valores de los píxeles de cada fotografía aérea con tres bandas cada una.

Otro de los procedimientos seguidos en el trabajo fue el cálculo del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)). Para ello, se utilizó el método planteado en la guía de ejercicios del ILWIS.

Esta formula requiere de dos bandas de satélite, en este caso se utilizó las bandas 3 y 4 del satélite LANDSAT del año 2001. (Una con valores en el espectro visible o en el rojo visible y la otra en el infrarrojo cercano).

La formula empleada fue:

$$(b - a) / (a + b)$$

Cuando se use la formula para el calculo del NDVI (a,b), a es remplazado por la banda del visible o el rojo , y b por la banda con el infrarrojo cercano.

Las áreas de vegetación tienen valores de reflectancia relativamente altos próximos al infrarrojo cercano y bajos valores al espectro visible.

En contraste, el agua y las nubes tienen valores más altos de reflectancia próximos al visible que al infrarrojo cercano. De aquí que aparezca con valores índices negativos.

Las rocas y los suelos descubiertos tienen una reflectancia similar en las dos bandas, de aquí que el índice de vegetación esté próximo a cero.

Cuando los valores de entrada son indefinidos, o cuando ambos valores de entrada son indefinidos, el índice resultante es indefinido.

Dicho de otra manera, los valores cercanos a 1 reflejan la vegetación más robusta, los próximos a 0, suelo y rocas, y los valores negativos cuerpos de agua y nubosidad.

Mapas vectoriales

En esta etapa se prepararon en su versión final una serie de mapas vectoriales a través del empleo de las operaciones con vectores entre las que se destacan: mapas de atributos de polígonos, segmentos y submapas. De esta manera quedaron definidos 8 mapas vectoriales. Posteriormente estos mapas se convirtieron en raster para realizar una serie de operaciones en este formato como superposiciones, cruzamientos y clasificaciones.

Mapa de Problemas ambientales

Para la explicación del procedimiento seguido en la obtención del mapa “Problemas ambientales” será de gran utilidad los Flujogramas (Figuras 1 y 2).

Los mapas utilizados en la confección del mapa “Problemas ambientales” como se muestra en el flujograma son los siguientes:

- Mapa “Peligro de inundación por penetraciones del mar”
- Mapa “Peligro de inundación pluvial”
- Mapa “Peligro de inundación por rompimiento de presas”
- Mapa “Peligro de erosión potencial”
- Mapa “Precipitación media anual”
- Mapa “Agrupamiento de suelo”
- Mapa “Áreas urbanizables y no urbanizables”
- Mapa “Uso de suelo”

- Mapa “Focos contaminantes”
- Mapa “Formaciones litológicas”
- Mapa “Índice Normalizado de Vegetación”
- Mapa “Consejos Populares”
- Mapa “Cuencas Hidrográficas”

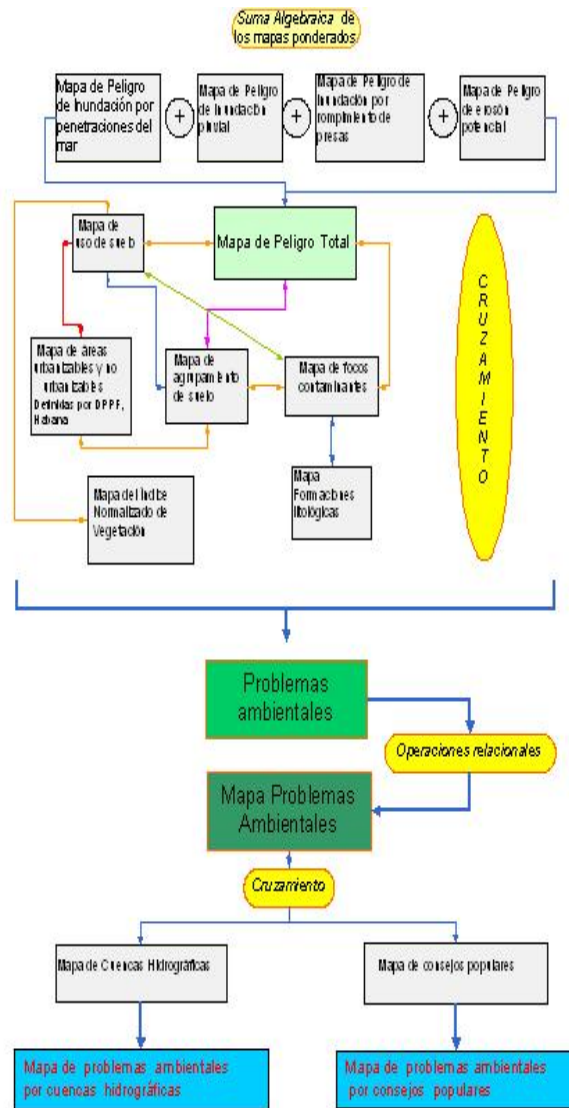


Figura.2. Flujograma de los pasos seguidos para la obtención del mapa “Problemas ambientales”.

Con estos mapas se realizaron diferentes operaciones de análisis espacial, un primer grupo de mapas se combinó para dar lugar al mapa de “Peligro total”, mediante la suma algebraica de sus valores ponderados. Este mapa clasificado en cinco categorías: Peligro Muy alto, Peligro alto, Peligro medio, Peligro bajo y Sin peligro.

El mapa de “Peligro total” se combino mediante la operación de cruzamiento (cross operation) con otros mapas temáticos: mapa de “Uso del suelo”, mapa de “Focos contaminantes”, mapa de “Agrupamiento de los suelos” y mapa de “Áreas urbanizables y no urbanizables”.

Además, el mapa “Uso de suelo” se cruzo con los mapas temáticos siguientes: mapa de “Agrupamiento de suelos”, mapa de “Áreas urbanizables y no urbanizables”, mapa del “Índice normalizado de vegetación” y el mapa de “Focos contaminantes”. Por último, el mapa de “Focos contaminantes” se cruzo con el mapa de “Formaciones geológicas”.

A partir del cruzamiento de los mapas temáticos se generó un gran volumen de información y según criterios de expertos se definió cuales condicionales constituyeron problemas ambientales.

Cada condicional clasificada como problema ambiental quedo representada en un mapa resultante. El mapa final de problemas ambientales se obtuvo de la superposición de estos mapas.

Por último, el mapa de “Problemas ambientales” se cruza con los mapas de “Consejo Popular” y “Cuencas hidrográficas” determinándose la problemática ambiental a este nivel espacial (Figuras 3, 4, 5 y 6).

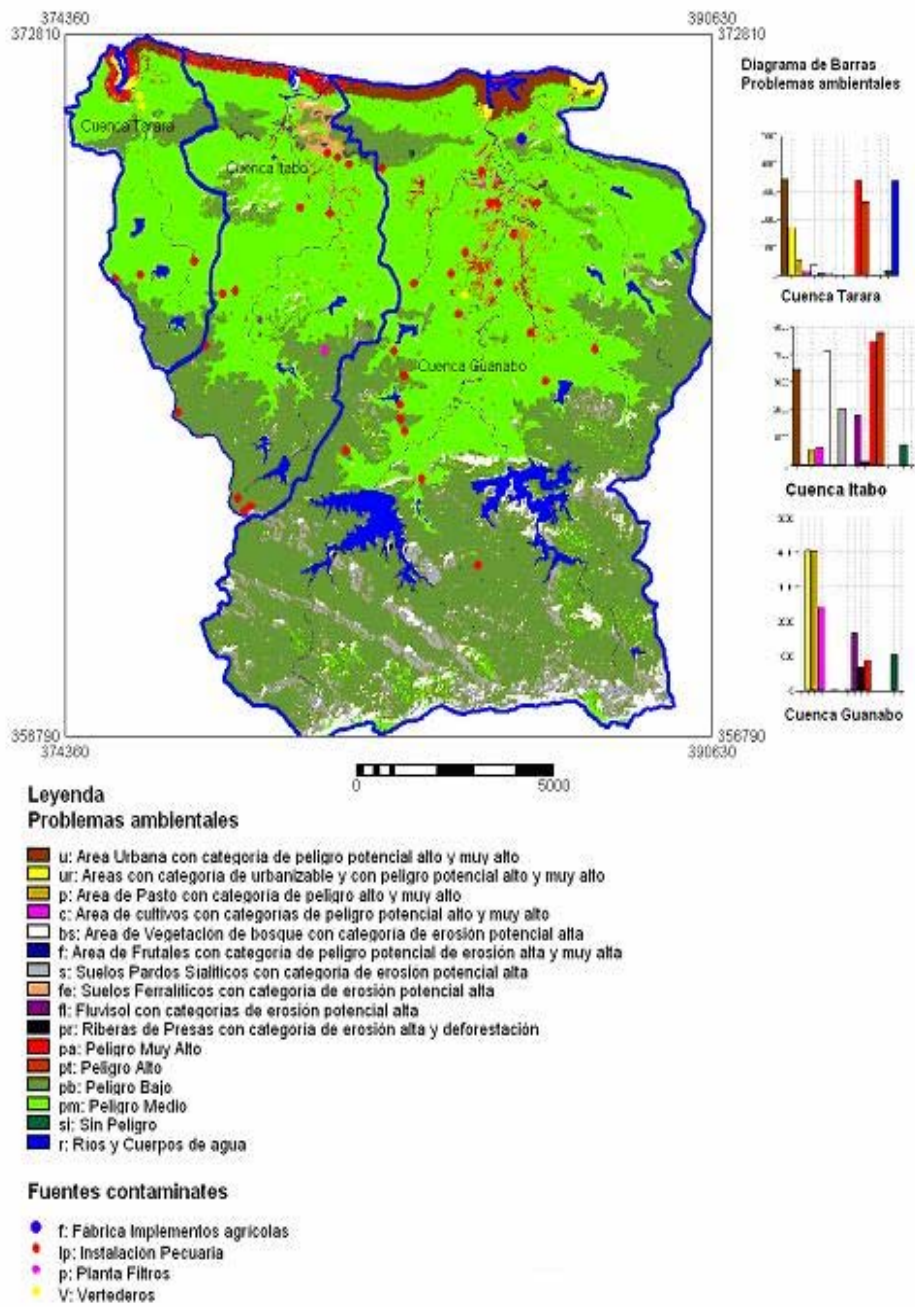
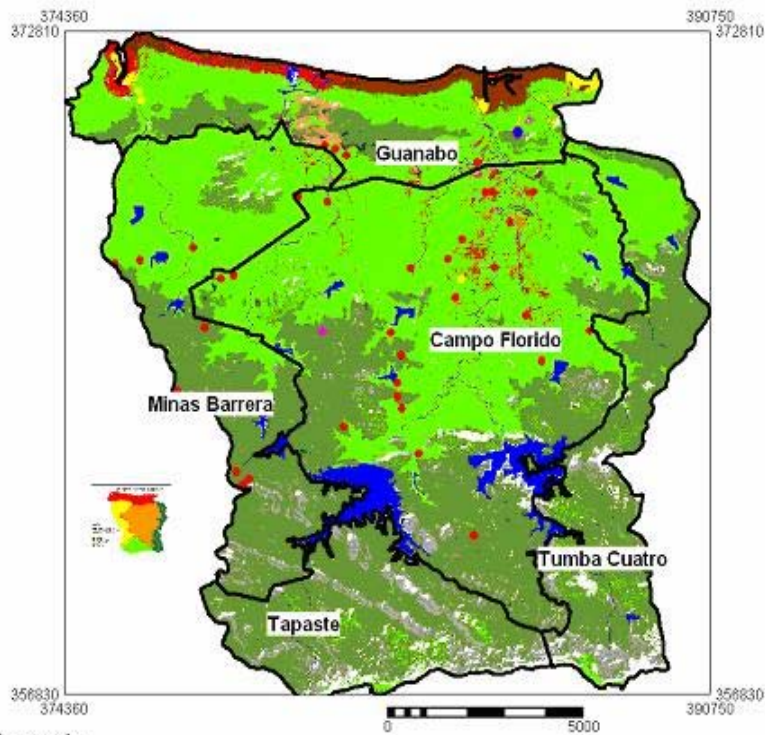


Figura 3. Problemas ambientales por cuencas hidrográficas.



Leyenda

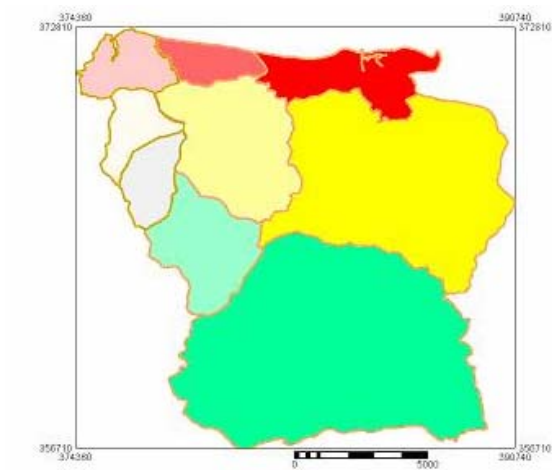
Problemas ambientales

- u: Área Urbana con categoría de peligro potencial alto y muy alto
- ur: Áreas con categoría de urbanizable y con peligro potencial alto y muy alto
- p: Área de Pasto con categoría de peligro alto y muy alto
- c: Área de cultivos con categorías de peligro potencial alto y muy alto
- bs: Área de Vegetación de bosque con categoría de erosión potencial alta
- f: Área de Frutales con categoría de peligro potencial de erosión alta y muy alta
- s: Suelos Pardos Sialíticos con categoría de erosión potencial alta
- fe: Suelos Ferralíticos con categoría de erosión potencial alta
- fi: Fluvisol con categorías de erosión potencial alta
- pr: Riberas de Presas con categoría de erosión alta y deforestación
- pa: Peligro Muy Alto
- pt: Peligro Alto
- pb: Peligro Bajo
- pm: Peligro Medio
- si: Sin Peligro
- r: Rios y Cuerpos de agua

Fuentes Contaminantes

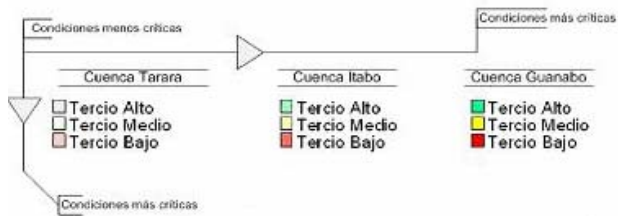
- f: Fábrica Implementos agrícolas
- lp: Instalación Pecuaría
- p: Planta Filtros
- V: Vertederos

Figura 4. Problemas ambientales por Consejos Populares.



Leyenda

Condiciones del medio ambiente en los tercios de las cuencas hidrográficas



Leyenda

El color rojo indica el de condición más crítica
Disminuye del color rojo al verde

- Guanabo
- Campo Florido
- Mines Barreras
- Tapaste
- Tumba Cuatro

Figuras 5 y 6. Condiciones del medio ambiente por cuencas hidrográficas y Consejos Populares.

Conclusiones

- 1- El empleo del modulo de análisis hidro-geomorfológico del SIG ILWIS vs. 3.3 fue de gran utilidad para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, el mismo permitió el calculo de la variación en tierra de la surgencia de tormenta mediante el coeficiente de variación de la surgencia, pudiéndose obtener la amenaza de inundación por penetraciones del mar. Además, se incorporaron una serie de parámetros geomorfométricos que facilitaron la generación automática de una serie de mapas como el limite de las cuencas hidrográficas, el índice de sedimentación, el poder de arrastre de las corrientes, y el índice de saturación, todos de vital importancia para la caracterización hidrológica de las cuencas hidrográficas tratadas como un modelo teórico.

- 2- El procedimiento desarrollado en el SIG ILWIS vs. 3.3 fue de gran utilidad para la identificación de los principales problemas ambientales. El análisis y procesamiento de imágenes de satélite permitió obtener nuevos datos sobre la problemática ambiental del territorio, lo que contribuyó a complementar con esta información los estudios precedentes. La base de dato espacial y alfanumérica digital obtenida en el SIG, constituye una voluminosa y valiosa información para los tomadores de decisión y sienta las bases para mitigar los problemas ambientales en el territorio.

Bibliografía

1. Arambarry Pérez, Magali, Yamilka Fernández Santiago, Javier Arévalo Izquierdo (2004): Cuenca Guanabo. Dirección Provincial de Planificación Física. La Habana. pp. 3.
2. Arcia, M. I. (1994): Geografía del medio ambiente: una alternativa del ordenamiento ecológico. Editorial UAEM, México. pp. 289.
3. Avella, A. (1994): Planeamiento ambiental. Editorial UAEM. México. pp. 330.
4. Barragán, J. M. (1994): Ordenación, planificación y gestión del espacio litoral. Oikos-Tau. Barcelona, 298 pp.
5. Barragán, J. M. (1995): Medio Ambiente en las zonas costeras ¿quiebra de un modelo productivo?. Universidad de Cádiz, España. pp. 250.
6. Barragán, J. M. (2003): Medio Ambiente y desarrollo en áreas litorales. Introducción y a la Planificación y Gestión Integradas. Universidad de Cádiz, Cádiz. pp. 301.
7. Barranco, G. (2000): “Estudio ambiental integral de la cuenca del río Mayabeque. Una contribución a la gestión sostenible”. [inédito]. Proyecto de investigación, Dpto. de Medio Ambiente, Instituto de Geografía Tropical, La Habana.
8. Cano, Mercedes (2002): Manejo Integrado Costero. Módulo de Formación Ambiental Básica. Proyecto Acciones prioritarias para consolidar la protección de la biodiversidad en el ecosistema Sabana-Camagüey. pp. 3
9. CIMAB (1997): Rehabilitación ambiental del tramo costero Boca Ciega – Playa Veneciana. pp. 25.
10. CIMAB (2003): Evaluación de la calidad ambiental de las aguas del tramo costero Bacuranao - Rincón de Guanabo, Playas del Este, Ciudad de La Habana, Cuba. Informe parcial. pp. 35.

11. Consejo Popular Guanabo (2004): Planeamiento Estratégico Comunitario.
12. Consejo Popular Guanabo (2004): Diagnósticos Comunitarios.
13. Comisión Nacional de Medio Ambiente (1996): Metodologías para la caracterización de la calidad ambiental. Partners Comunicaciones Corporativas, Santiago de Chile. pp. 242.
14. Comunicación personal de Alberto Rivera Peña (2004). Vicepresidente del Consejo Popular Campo Florido.
15. Comunicación personal de Elizabet Domínguez Maceo y Dolores Reytor Rondón (2004). Presidente y Vicepresidente del Consejo Popular Guanabo.
16. Comunicación personal de Quintín Aurelio Matos Castillo y Orlando de la Cruz Castillo (2004). Presidente y Vicepresidente del Consejo Popular Minas Barreras.
17. De la Colina Rodríguez, Armando Jesús (2000): “Caracterización geográfica y distribución territorial de los ecosistemas costeros en Cuba”. Resultado Parcial “Caracterización geográfica y distribución espacial de los ecosistemas frágiles en Cuba”. Proyecto “Percepción de los procesos de marginalidad en ecosistemas frágiles”. Departamento de Estudios de Montaña. Instituto de Geografía Tropical. Pág. 66-146.
18. Dirección Provincial de Planificación Física (1999): Esquema de Ordenamiento Territorial del Polo Turístico Playas del Este. pp. 83.
19. Domínguez, Alfredo et al (2003): El Ordenamiento Ambiental. En: Modulo de Formación Ambiental Básica. Proyecto: Acciones Prioritarias para Consolidar la Protección de la Biodiversidad en el Ecosistema Sabana-Camagüey. La Habana. pp. 19.

20. Gross, P. y M. Rivas (1998): Desarrollo de una metodología para evaluar la calidad del medio ambiente urbano. Serie Verde 2. Instituto de Estudios Urbanos. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. pp. 47.
21. Matos, Quintín (2003): Comunicación personal. Presidente del Consejo Popular Minas Barreras.
22. Ministerio de Justicia (1997): Ley No. 81. Del Medio Ambiente. En: Gaceta Oficial de la República de Cuba.
23. Ministerio de Justicia (2000): Decreto-Ley No. 212. Gestión de la Zona Costera. En: Gaceta Oficial de la República de Cuba.
24. Naciones Unidas (1996): Indicadores de desarrollo sostenible. Marco y metodologías, Comisión sobre el Desarrollo Sostenible, Nueva York. 478 pp. 478.
25. Quintana Orovio, Marisela (2006): Base metodológica para el ordenamiento ambiental en zonas de desarrollo Turístico. [inédito]. Proyecto de investigación. División de Medio Ambiente. Instituto de Geografía Tropical. La Havana.
26. Universidad Bolivariana (1998): Criterios e indicadores de desarrollo sostenible a niveles sectorial y regional. Regiones III, IX y Región Metropolitana, Santiago de Chile, pp. 65.
27. Winograd, M. (1995): Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe. Hacia la sustentabilidad en el uso de tierras, Grupo de Análisis de Sistemas Ecológicos (GASE), San José. pp. 85.