



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Esta tesis doctoral contiene un índice que enlaza a cada uno de los capítulos de la misma.

Existen asimismo botones de retorno al índice al principio y final de cada uno de los capítulos.

[Ir directamente al índice](#)

Para una correcta visualización del texto es necesaria la versión de [Adobe Acrobat Reader 7.0](#) o posteriores

Aquesta tesi doctoral conté un índex que enllaça a cadascun dels capítols. Existeixen així mateix botons de retorn a l'índex al principi i final de cadascun dels capítols .

[Anar directament a l'índex](#)

Per a una correcta visualització del text és necessària la versió d' [Adobe Acrobat Reader 7.0](#) o posteriors.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



**UNIVERSIDAD DE ALICANTE, ESPAÑA.
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA.**

**UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO, CUBA
CENTRO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

**PROGRAMA DOCTORAL CONJUNTO "DESARROLLO SOSTENIBLE DE BOSQUES
TROPICALES: MANEJOS FORESTAL Y TURISTICO"**

TITULO DE LA TESIS:

**Metodología para el diseño de un sistema medioambiental costero y la
incidencia del bosque de manglar en la erosión del litoral por técnicas de
avanzada de la Geomática**

**Memoria presentada por Ing. Iluminada de la Caridad Milián Cabrera para
optar por el grado de Doctora en Geografía.**

Vº Bº del Director

Dr. Alfredo Ramón Morte
Profesor Titular
Investigador Titular

Vº Bº del Tutor

Ricardo Alvarez Portal
Profesor Titular
Investigador Titular

ALICANTE, 2003





**UNIVERSIDAD DE ALICANTE, ESPAÑA.
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA.**



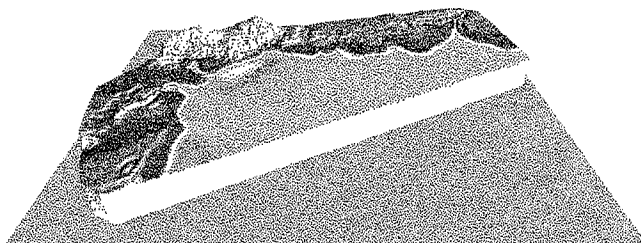
**UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO, CUBA
CENTRO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

TESIS OPTATIVA AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTOR EN GEOGRAFÍA

**PROGRAMA DOCTORAL CONJUNTO "DESARROLLO SOSTENIBLE DE
BOSQUES TROPICALES : MANEJO FORESTAL Y TURÍSTICO"**

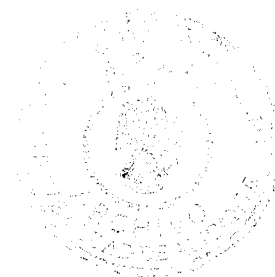
TÍTULO:

**Metodología para el diseño de un sistema medioambiental costero y la
incidencia del bosque de manglar en la erosión del litoral por técnicas de
avanzada de la Geomática**



Iluminada de la Caridad Milián Cabrera

Pinar del Río, Cuba, 2003



Dedicatoria



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

A la memoria de mis padres.

A Pepe, Inesita y José David.

*A lo inmaterial y lo sublime
que nos da fuerza y nos alienta cada día.*

Agradecimientos

La realización de un trabajo de tesis doctoral es una tarea delicada que exige muchos sacrificios, mucha consagración, mucho tiempo dedicado a la lectura y revisión de bibliografía, a su ejecución y comprobación. Todo este cúmulo de actividades no podrían realizarse si en ellas no se tuviera el apoyo y asesoramiento de un número considerable de personas, a las que jamás pudiéramos agradecer todo su respaldo, por eso en este caso quiero resaltar en primerísimo lugar todo lo que en mi favor han hecho el Dr. Ricardo Álvarez Portal y su compañera en la vida y en el trabajo la Dra. Sara Interián Pérez, que han sido una fuente inagotable de conocimientos y experiencias, que no escatimaron tiempo, ni distancia, para que se realizara la presente tesis.

Al director de tesis Dr. Alfredo Ramón Morte por su colaboración científica.

A mi amiga y compañera Greicy Rodríguez Crespo, por su apoyo espiritual y material. A Osmany Hernández, Juan Ramón Castro, Michel Gala por la ayuda prestada.

Se agradece también a Juan Barreras, a los compañeros del Departamento de Mecánica y al Rector de la Universidad Dr. Gil Ramón González González por el apoyo brindado.

A los compañeros del Instituto de Geografía Tropical en ciudad de la Habana, a los compañeros de GeoCuba, en especial a Sandra González y al Departamento de Planificación Física Provincial de Pinar del Río.

A los familiares, amistades y a todos aquellos que de una forma anónima y aparentemente inadvertida pusieron su granito de arena en la consecución de este fin.

A todos, muchísimas gracias.



Resumen

En el presente trabajo se establece una metodología para la confección de mapas temáticos a partir de técnicas avanzadas de la Geomática Aplicada como son: Percepción Remota (PR), Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y Sistemas de Información Geográfica (SIG), en el diseño de un sistema medioambiental costero, denominado SIGMAC, donde se utilizaron dos software que son *Mapinfo 5.5* para la vectorización y *ENVI RT 3.5* para el tratamiento de imágenes, además se valoró la importancia del bosque de manglar y el papel que estos juegan en los aspectos del manejo costero, haciendo énfasis en su papel protector de la línea litoral.

El estudio se ha realizado en un área de la costa sur de Pinar del Río, desde la Ensenada de La Coloma hasta la Ensenada de Cortés, tomándose una franja costera de 5 km de ancho, donde a través de las técnicas mencionadas anteriormente se obtuvieron los resultados y el estado actual de algunos recursos costeros, representados en diferentes mapas temáticos como: suelo, hidrografía, relieve, vegetación, etc. Se estudió el recurso bosque de manglar de un sector del área y su repercusión en la erosión costera, teniendo en cuenta lo expuesta que se encuentra la misma a los fenómenos naturales. Se utilizaron diferentes materiales cartográficos y fotográficos, además de imagen de satélite. A partir de los resultados obtenidos, donde es evidente la degradación del bosque de manglar y la erosión que ha sufrido la costa, se plantean medidas de seguimiento, y recuperación de la zona de estudio, para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

Summary

In the present work it is established a methodology for the elaboration of thematic maps from up – to – dated techniques of Applied Geomatics such as: Remote Perception (RP), Global Positioning System (GPS) and Geographical Information Systems (GIS), everything in the design of a coastal environmental system named SIGMAC, where two software (Mapinfo 5.5 and ENVIRT 3.5) are used. Besides there is an evaluation of the importance of mangrove – tree forest, and the role they play in the coast management, making emphasis in the protecting role of the coast.

The study was carried out in an area of the South Coast of Pinar del Río, from the cove of La Coloma and cove of Cortés, taking a portion of 5 Kms wide, where, using the techniques mentioned before, the author could obtain the results and the conditions of coast resources at present. The result are represented in different thematic maps about soil, hydrography, vegetation, etc. A study about a sector of mangrove – trees and its repercussion in the coast erosion, considering its exposure to natural phenomenon was carried out. Many cartographic and photographic materials were used, apart from a satellite image.

Considering the results, where the degradation of the forest and the erosion suffered by the coast are evident, the author suggest different measures to follow and recuperate the zone of study to guarantee the sustainability in a long term.

ÍNDICE:

Capítulos: páginas:

Introducción	1
CAPÍTULO I: Descripción y evaluación de la zona objeto de estudio	16
Cubrimiento cartográfico, aerofotográfico y existencia de otros materiales. Características de las redes geodésica y mareográfica de la zona	16
Caracterización general de la zona de estudio	32
Análisis de la problemática medioambiental y socioeconómica	59
Importancia del Ecosistema Manglar	76
Potencialidades socioeconómicas. Las actividades económicas en el espacio litoral	80
Impacto ambiental en la zona de estudio	83
Desarrollo Sostenible	86
CAPÍTULO II: Aplicación de las tecnologías avanzadas (Geomática)	93
Tecnologías de captura de información georreferenciada	93
Evolución del estado actual de la Percepción Remota y sus aplicaciones	106
Desarrollo de los Sistemas de Posicionamiento por Satélites y sus aplicaciones	117
Valoración de los avances de la Fotogrametría Digital	143
Tecnologías y Métodos para el proceso de la georreferenciación y las salidas cartográficas	145
Infraestructura tecnológica del proceso digital	170
CAPÍTULO III: Análisis del uso de las tecnologías avanzadas. Diseño del SIGMAC	176
Desarrollo metodológico de las actividades científico técnicas dirigidas a la creación de un sistema integrado de información geográfica	176
Diseño del Sistema de Información Geográfica Aplicado al Medio Ambiente Costero en el sector comprendido entre la Ensenada de La Coloma y la Ensenada de Cortés	189
Otras definiciones técnicas del desarrollo e implementación del SIGMAC	213
Capítulo IV: Resultados experimentales	232
Aspectos introductorios	232
Diseño, desarrollo e implementación del SIG experimental	235
Puesto de trabajo (condiciones del...)	263
Procesos técnicos fundamentales para desarrollar el SIGMAC	264
Proceso digital de la imagen de satélite	265

Propuesta de la actualización de la información cartográfica temática mediante las tecnologías avanzadas en Geomática	280
Consideraciones especiales para el área de estudio	281
Conclusiones Generales	305
Referencias Bibliográficas	308

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universitat de Alicante

Introducción

La presente Tesis se ha desarrollado en un contexto socioeconómico y medioambiental muy complejo, que se destaca por su carácter global. En Cuba, aunque está teniendo repercusión este fenómeno de escala mundial, el Gobierno ha tomado las medidas que ha considerado necesarias y posibles para minimizar al máximo sus efectos negativos. Una de las cuestiones fundamentales a favor de la mitigación de los daños que puedan causar los efectos del desarrollo económico y tecnológico del país, es que la ciencia se ha puesto al servicio de la búsqueda de soluciones que permitan un uso más racional y adecuado de los recursos naturales y un manejo sostenible de los mismos. Siguiendo esta política, el tema de la Tesis está dirigido precisamente al empleo de tecnologías de avanzada que pueden ser convertidas en útiles herramientas para alcanzar los propósitos planteados.

A mediados de los años sesenta en Europa y Estados Unidos de Norteamérica (principalmente), se comenzó a tomar conciencia del uso inadecuado de los ecosistemas sometidos a contaminación y deterioro, pero no fue hasta 1972 cuando la situación ambiental en esos momentos, alertó a la comunidad mundial y se emprendieron diversas acciones encaminadas a conservar y proteger el medio ambiente.

Esta alerta tuvo eco en otras áreas del planeta, por lo que se convocó a la Cumbre de Río en 1992 y a la de Barbados en 1994, donde se enfocó este aspecto a los casos de las pequeñas islas, principalmente del Caribe.

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*¹ 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 (Moldes, J., 1995).

Por otra parte, el desarrollo sostenible es un proceso demandado no sólo por los Gobiernos sino también por el mundo científico, ante un planeta amenazado en su conservación por la forma en que repercute el mencionado proceso de globalización económica en los países en vías de desarrollo; se cita especialmente la problemática del deterioro de los ecosistemas costeros, principalmente en las pequeñas islas, como Cuba, así como la dialéctica de renovación – sustitución en un mundo de relaciones técnicas y productivas en fuerte evolución.

La zona litoral, que abarca las zonas ribereñas y de la plataforma marina, no es un concepto tan elemental como se recoge en algunas versiones de los Diccionarios Enciclopédicos de la Lengua Española, donde aparece definido como: "perteneciente a la orilla o costa del mar" o como lo define la Real Academia Española de la Lengua que reconoce al litoral como sinónimo de costa y lo define como: "la orilla del mar y la tierra que está cerca de ella". En diccionarios especializados (Monkhouse 1978), se plantean definiciones y conceptos más complejos que los anteriores, pero lo que sí debe quedar claro, y es común en los conceptos analizados, que el litoral es una zona de anchura variable de mayores o menores dimensiones, que aparece como resultado de un proceso de contacto dinámico entre la hidrosfera salada y la litosfera, lo que nos permite señalar que en realidad la "línea" se convierte en una franja o banda de más o menos ancho, donde interactúan tres medios: terrestre, acuático y aéreo (Barragán, J. M., 1995).

La importancia en la delimitación o definición del espacio marítimo litoral, radica, fundamentalmente, en la cada vez mayor trascendencia que este medio ambiente

¹ A partir de este momento, nos permitiremos la licencia de utilizar neologismo en cursiva del tipo "geoinformación" o "georreferenciación", en el lugar de su equivalencia en castellano: información geográfica o referenciación / registro geográfica/o, por considerar que esto ayuda a la lectura general del trabajo

tiene para algunas actividades económicas de la población (acuicultura, pesca, turismo, etc.), así como para la conservación de determinados espacios naturales.

El litoral, por tanto, resulta un espacio geográfico interesante por muchos motivos que justifican su estudio detallado y periódico, ya que las razones vinculadas a sus múltiples y variadas potencialidades económicas o a su singular localización explica, sobradamente, que merece una especial atención.

Por lo tanto, cuando se hace referencia al litoral, hay que hablar de un paradigma "objetivos de la ordenación – propuestas – efectos – evaluación – selección de la ordenación – gestión", donde destacan por su importancia los dos extremos: **objetivos** (en plural, ya que pueden ser varios y serán distintos según los intereses de los que promueven la ordenación) y **gestión** (ya que cualquier plan que no sea realista y viable se quedará en un mero documento sin capacidad de transformar la realidad hacia los objetivos deseados).(Barragán, J. M., 1995).

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.

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.

En este sentido, el estudio de las costas cubana se hace muy importante, ya que ofrece una gran variedad morfológica y paisajística, así como una variedad de tramos de costa vírgenes que ofertan al turista y al turismo científico como tal, unas condiciones muy favorables.

Gran parte del tramo costero que se va estudiar, está sometido a un proceso de erosión, agudizado por la penetración del mar, que en ocasiones responde a los fenómenos atmosféricos que azotan las costas cubanas gran parte del año; las zonas más sensibles a estos fenómenos son las comprendidas en los tramos de las playas y zonas bajas.

La erosión casi generalizada a que se hace referencia, puede provocar el deterioro de playas; así como la pérdida de muchos recursos naturales, entre ellos las coberturas de mangle, que inferiría la disminución de la defensa más eficaz del territorio frente al oleaje.

Problema:

La necesidad de una base cartográfica actualizada en la valoración de la situación medioambiental con relación al recurso manglar de un tramo de la zona litoral al Sur de Pinar del Río en el estudio de erosión costera.

Objeto:

Zona costera litoral sur – oeste de la provincia de Pinar del Río, entre la Ensenada de La Coloma y la Ensenada de Cortés



Figura 0.1: Imagen de la zona de estudio obtenida de los datos divulgativos de la NASA y gobierno de los EE.UU. procedente del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer sonda de los satélites *Terra EOS AM* y *Aqua EOS PM*) del 30 de noviembre de 2002 en la que se aprecian con claridad las características complejas en la configuración del litoral estudiado –costa Sur-.

Campo de Acción:

Uso de tecnologías avanzadas de la esfera de la Geomática, aplicadas a la captura de *geoinformación*, su tratamiento automatizado, análisis y obtención de mapas temáticos digitales para delimitar espacialmente las coberturas de mangles y apoyar los estudios *in situ* sobre su estado. Se prestará especial atención en la investigación la consideración de los siguientes elementos del medio geográfico: hidrografía, tipo de suelo, asentamientos poblacionales y toda la información sobre uso de suelos disponible.

Objetivo:

Establecer el diseño de un SIG mediante el empleo de tecnologías de avanzada, empleadas en la captura y proceso de información *georreferenciada* sobre los territorios como soporte para un manejo adecuado de la zona costera con énfasis en los ecosistemas de manglar y la importancia de éstos en la mitigación de la erosión del litoral.

Hipótesis:

Con el empleo de las tecnologías de avanzada que conforman el campo de la *Geomática Aplicada* (Percepción Remota, Fotogrametría Digital, Sistema de Posicionamiento Global, Cartografía Digital y Sistemas de Información Geográfica), es posible elevar la eficiencia y disminuir los costos de los estudios de los recursos naturales y de la cartografía temática que se obtendrá. El establecimiento de un Sistema de Información Geográfica, por su capacidad integradora de información sobre la zona costera estudiada, coadyuvará a que se realice un mejor manejo de estos territorios e influirá notablemente en la adopción rápida y acertada de decisiones por parte de los responsables del aprovechamiento de dichos recursos y de aquellos que responden por la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible de estas importantes regiones del país.

Volumen y estructura de la Tesis:

La Tesis consta de 322 páginas, 27 tablas, 72 figuras y se estructura de la forma siguiente: Introducción, Antecedentes y Fundamentación del Tema, cuatro Capítulos, Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía.

En el Capítulo I: “ Descripción y evaluación de la zona de estudio”, se describe de forma detallada las características físico-geográficas del tramo costero en cuestión, el estado de los recursos naturales y su manejo actual, así como aquellos aspectos de interés sobre la situación socioeconómica de la región, además de las potencialidades y perspectivas del desarrollo sostenible.

En el Capítulo II: “Estado actual de la aplicación de las tecnologías de avanzada” se fundamenta la importancia de la aplicación en este tipo de estudio de las tecnologías tratadas, como: la Percepción Remota, la Fotogrametría Digital, los Sistemas de Posicionamiento por Satélite y Sistemas de Información Geográfica, entre otras. Esta parte de la Tesis requirió de una extensa búsqueda y selección bibliográfica con un alto nivel de actualización.

En el Capítulo III: "Análisis del uso de las tecnologías de avanzada. Diseño del SIGMAC", se desarrollan las cuestiones relativas al uso de algunas de dichas tecnologías de la forma más eficiente posible y teniendo en cuenta las condiciones de infraestructura tecnológica existentes.

Se tratan fundamentalmente las variantes de esquemas tecnológicos y se adecuan los procedimientos metodológicos a la realidad objetiva. A partir del análisis realizado se proponen las vías y esquemas de soluciones técnicas más adecuadas para poner en práctica las aplicaciones necesarias de acuerdo a la región de estudio, los ecosistemas implicados, la existencia de materiales y de infraestructura tecnológica.

En el Capítulo IV; "Resultados experimentales", se presentan los diferentes resultados que se obtuvieron en el transcurso de la etapa experimental, de acuerdo a las cuestiones tratadas en el Capítulo III y que responden a los objetivos planteados. Aquí se describen en apretada síntesis los procesos de obtención de los *espaciomapas*, las clasificaciones de imágenes, la aplicación SIG, entre otros. Además se plantean las medidas para un mejor manejo del ecosistema manglar y las medidas para la disminución de las fuentes de contaminación de la zona objeto de estudio, a partir del diagnóstico y evaluación realizados en el Capítulo I.

Antecedentes y fundamentación del tema

La problemática medioambiental en la actualidad es realmente compleja, ésta es el resultado de la falta de visión de la interrelación que existe entre la naturaleza y la sociedad en la realización del manejo de los recursos naturales y el desarrollo de actividades económicas. De hecho, un paso decisivo en la lucha por preservar el entorno, es conocerlo mejor y tomar una conciencia clara de cuales son estos

recursos naturales, donde se ubican, en que estado se encuentran y como explotarlos racionalmente.

El medio natural es una condición imprescindible y la fuente de origen de la vida del hombre y la producción social; sin embargo, la actividad cada vez más creciente de la sociedad sobre el entorno natural, sustentada por el avance tecnológico actual que exige el desarrollo socioeconómico, recae peligrosamente sobre los recursos de la envoltura geográfica a nivel global, originando cambios climáticos inusuales, deforestación, erosión y degradación de los suelos, alteración del ciclo hidrológico a nivel planetario y de los ecosistemas en general, así como otros fenómenos provocados por diversos factores, atribuidos o no, a la actividad antropogénica, cuya caracterización es una tarea de suma importancia y de gran complejidad científica.

Existen también tendencias a nivel global de cambios en los ecosistemas costeros y marinos, los sistemas arrecifales del Gran Caribe no son la excepción; los cambios en la composición atmosférica y la elevación de la temperatura de las aguas del mar parece ser la amenaza más importante a la estabilidad del medio ambiente, pero éstos representan solamente uno de los muchos aspectos del cambio global que se encuentra sufriendo nuestro planeta. La problemática fundamental es que la actividad antrópica está afectando, de manera no bien entendida, virtualmente todos los sistemas y ciclos que conjuntamente permiten la vida sobre la Tierra. Por este motivo, es necesario aumentar el conocimiento de la dinámica de la biosfera, que influye y está afectada por el cambio global del ambiente.

El Mar Caribe es el puente natural que une a distintos países de la región. El espacio litoral de éstos se caracteriza por su complejidad geográfica y fragilidad ecológica, a la vez que es objeto de presiones antrópicas que soportan como territorio de elevadas potencialidades económicas, por el que compite un elevado número de actividades de desarrollo socioeconómico. Es conocido el esfuerzo que realizan los países del área para asimilar y explotar en interés del desarrollo del turismo distintas zonas costeras, donde se ejecutan fuertes inversiones. Para lograr un turismo sostenible es necesario mantener ecológicamente limpias dichas zonas. Sin

embargo, no resulta fácil ni económica la tarea de la vigilancia y al control medioambiental de extensos territorios que en ocasiones son de difícil acceso.

Por ejemplo, el archipiélago cubano es un territorio que se caracteriza por la compleja caracterización de sus costas de las zonas de la cayería. La Plataforma Marina Cubana, con una superficie mayor de 70 000 Km.² y sus zonas costeras con más de 6 000 Km. lineales de costa, posee innumerables recursos naturales de gran significado para el desarrollo económico y social del país. Por otra parte, como país tropical los geosistemas costeros cubanos tienen un elevado valor para la comunidad científica internacional que estudia e investiga el estado de conservación y deterioro de los ecosistemas correspondientes. La zona costera y de la plataforma de la Provincia de Pinar del Río, se caracteriza por su rica diversidad y recursos naturales que son aprovechados para el desarrollo del turismo, la economía pesquera, etc. La zona suroeste de este territorio es el objeto de investigación de la presente tesis de doctorado.

El desarrollo a escala mundial alcanzado por las nuevas técnicas y los métodos avanzados que posibilitan como la Percepción Remota (PR), los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la Fotogrametría Digital (FD), el Proceso Digital de Imágenes (PDI) y la Cartografía Digital (CD), permite actualmente contar con estas formidables herramientas en el proceso de adquisición, almacenamiento, análisis y presentación gráfica de datos sobre extensos territorios de forma muy eficiente, rápida y exacta.

La tarea de crear la infraestructura tecnológica y las bases científico – técnicas y metodológicas en los países subdesarrollados, que permitan asimilar estas tecnologías de avanzada, es una actividad que debe llevarse a cabo sin dilación. En su consecución juega un papel de suma importancia la preparación de profesionales con una elevada calificación en la utilización de la información captada por diferentes sensores remotos espaciales y aéreos, en interconexión con las restantes tecnologías punta que han sido mencionadas y que estén vinculadas con los estudios territoriales temáticos de diversas esferas de las geociencias y con otras actividades científicas relacionadas con el espacio geográfico.

En la República de Cuba, actualmente se trabaja activamente en investigaciones dirigidas a descubrir y comprender de manera más profunda los procesos naturales y la influencia de la actividad antrópica sobre el medio ambiente, encaminadas a orientar la toma de decisiones y llevar a la práctica distintas medidas con el objetivo de proteger y preservar los recursos naturales de nuestra nación, base fundamental para el futuro desarrollo económico del país y la elevación de la calidad de vida de su pueblo. Este noble empeño también se trata de lograr en los demás países de la región del Caribe.

No existen antecedentes en nuestro país del empleo sistemático de la Percepción Remota aérea o espacial, en interconexión con GPS y SIG, para los estudios medio ambientales y detección y monitoreo de desastres, como es el caso de derrames de hidrocarburos.

En Cuba se ha empleado la información aérea y espacial en el campo de la cartografía topográfica, náutica y temática, pero poco se ha utilizado en los estudios medioambientales sistemáticos. Se destaca, sin embargo, el uso asiduo de la información radiométrica obtenida desde satélites geoestacionarios en los servicios meteorológicos del país y algunos resultados relevantes en las investigaciones de los recursos naturales y en otras actividades científico – técnicas.

En el país sólo se han empleado en el estudio de recursos naturales, de forma sistemática, los materiales obtenidos mediante sensores remotos fotográficos, aunque en el contexto de algunos experimentos de Percepción Remota nacionales e internacionales, llevados a cabo en regiones del territorio nacional (polígonos de experimentación), se han realizado levantamientos con sensores remotos no fotográficos (*scanners* óptico – mecánicos, sistemas infrarrojos térmicos, radiómetros, espectrómetros, etc.), pertenecientes a las instituciones científicas extranjeras participantes. Sin embargo, en la inmensa mayoría de estos experimentos, las investigaciones no sobrepasaron la etapa experimental y algunos de sus resultados no han logrado introducirse en la producción ni generalizarse, debido a la interrupción de la colaboración con los antiguos países socialistas.

Actualmente, se hacen esfuerzos por adquirir imágenes captadas por la sonda HRV del SPOT y de otros satélites como el LANDSAT.

Cuba no cuenta con una estación en tierra de recepción de imágenes de satélite de recursos naturales y meteorológicos de alta resolución². Desde finales de la década de los años ochenta, quedó interrumpida la adquisición de imágenes cósmicas captadas por satélites rusos y la colaboración que existió con la antigua Unión Soviética. Por otra parte, no se cuenta con sondas remotos propias de alta tecnología y, por su elevado coste, no se han podido adquirir un juego de imágenes de satélite de alta resolución que cubra todo el territorio nacional de los programas espaciales SPOT (Francia), LANDSAT (EE.UU.), ERS 1-2 (Agencia Espacial Europea) y RADARSAT (Canadá), por citar los más usuales en este tipo de trabajos y los más conocidos.

Los dispositivos espaciales que actualmente se encuentran en operación para prestar servicios de Percepción Remota con fines pacíficos presentan un compromiso serio para poder satisfacer simultáneamente una resolución espacial adecuada con una resolución temporal que satisfaga los requerimientos de un monitoreo sistemático de plazos cortos. Por otra parte, algunos países no podrían soportar económicamente la adquisición de imágenes espaciales a solicitud y otros no cuentan ni con el soporte financiero para comprar algunas imágenes de su territorio. Incluso en cada país es probable que no exista una política para centralizar los esfuerzos con el fin de aprovechar de forma más eficiente los recursos en *hardware* y *software* para el proceso con fines científicos. En el caso de Cuba esta situación se agrava por el estricto bloqueo comercial que le ha sido impuesto durante más de treinta años por los Estados Unidos de Norteamérica.

Por esta razón, el estudio sistemático de nuestros recursos naturales y el monitoreo del estado medioambiental, es una necesidad de primer orden. En numerosas tribunas de carácter internacional se ha planteado la urgente e inaplazable tarea de

² Sería interesante la propuesta de creación de una Agencia Espacial de Países Asociados del Caribe, con fines exclusivamente civiles, que pudiera estar bajo el auspicio de organismos internacionales, con especial vocación en la prevención de riesgos naturales y gestión del medio ambiente.

preservar y regenerar los recursos naturales del planeta y un gran número de países han aprobado políticas y medidas encaminadas a elevar la eficiencia del manejo de los recursos naturales para mantener el equilibrio ecológico, preservar la biodiversidad y llevar a cabo un desarrollo sostenible. A este intento de los gobiernos le han seguido otros de la comunidad científica. La tarea consiste en llevar a la práctica lo que se registra en los documentos adoptados.

En este sentido, Cuba se encuentra desarrollando investigaciones en sus distintas instituciones científicas y trata de integrarse de forma más activa en el conjunto de los países caribeños para llevar a cabo distintas actividades de carácter docente, científico – técnicas y técnico – metodológicas, con el fin de asimilar diferentes métodos y tecnologías avanzados susceptibles de ser aplicados a los estudios del espacio geográfico, incluyendo las investigaciones integrales de los recursos naturales y la conservación del medio ambiente, tanto en tierra firme como en aguas oceánicas y en la plataforma marina.

Estos métodos y tecnologías son muy eficaces y en algunos casos imprescindibles para llevar a cabo las investigaciones de extensos territorios y la cartografía de sus resultados.

Desde hace varios años, se utilizan exitosamente, a nivel internacional, los datos e imágenes de satélite y de vuelos aéreos en los estudios del entorno geográfico y en la cartografía temática de sus resultados. Por otra parte, los métodos cartográficos de investigación permiten confeccionar una de las fuentes principales de información espacial – temporal : *el mapa*, documento empleado como medio eficaz para la organización geográfica de los datos y la definición de distintas regularidades, relaciones y dependencias geográficas, susceptibles de convertirse en base para la información.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son valorados como herramientas muy eficaces para almacenar, procesar, analizar, evaluar y representar la información *georreferenciada*, así como para obtener nuevos datos y conocimientos acerca de los fenómenos temporales y territoriales. En sí, son medios muy potentes

para el manejo de grandes volúmenes de información sobre el entorno geográfico, lo que facilita la toma de decisiones a los encargados de evaluar los efectos negativos de la actividad humana sobre el medio ambiente. La *Geografía* constituye el elemento clave para estructurar la información dentro de un SIG y para realizar operaciones de análisis espacial.

Otra tecnología avanzada que apenas comienza a introducirse en algunos países del entorno caribeño son los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). El empleo de estos sistemas en la ubicación de los medios técnicos (estaciones de muestreo, embarcaciones, etc.) que realizan las mediciones (observaciones) *in situ* parece ser el modo más efectivo y económico para la ejecución de estas actividades en el terreno. Sus aplicaciones se extienden a la captura de información *georreferenciada* y puntos de apoyo que pueden ser empleados en los trabajos fotogramétricos y en la alimentación de los SIG.

Por su parte, la Fotogrametría Digital (FD), se perfila como una de las más potentes herramientas en la obtención de datos cuantitativos del terreno, *georreferenciados* tridimensionalmente, y en la confección de ortofotoimágenes. El empleo combinado de todas las tecnologías y métodos mencionados conforman una línea de trabajo tecnológico y metodológico, en interconexión estrecha con el Proceso Digital de Imágenes (PDI) así como con la cartografía automatizada, Cartografía Digital (CD), a la cual se le denomina *Geoproceso Integrado* (GPI) o *Geomática*.

La utilización más amplia de los datos espaciales y aéreos en las investigaciones geográficas que se llevan a cabo en Cuba y en otros países de la región del Caribe, constituirán un salto cualitativo en los niveles de aseguramiento de la información científico-técnica multidisciplinaria, debido a las ventajas que ofrece la exploración espacial y aérea, las cuales son superiores en muchos aspectos a las que nos ofrecen los métodos tradicionales de investigación *in situ*. Estas ventajas son mundialmente reconocidas y aprovechadas en un amplio círculo de países para elevar la efectividad del entorno geográfico.

Una de las ventajas principales consiste en que se reduce el volumen de los trabajos de campo de las investigaciones, gracias a lo cual se disminuye el costo de las mismas. Por otra parte, el empleo de la información que se obtiene mediante la Percepción Remota permite elevar la calidad y la exactitud de los resultados científicos, lo cual se sustenta en las amplias posibilidades informativas y la calidad en la representación del terreno que brindan las imágenes y datos obtenidos por medio de los métodos y sensores de Percepción Remota, destinados para la realización de las investigaciones sobre recursos naturales de la Tierra.

La experiencia ha demostrado que solo el empleo combinado de la información aérea y espacial, apoyado por un almacenamiento y proceso adecuado de las imágenes, que presupone el empleo de los métodos y tecnologías avanzadas que abarca el *Geoproceso Integrado* (GPI), elevará la eficiencia de las investigaciones que se relacionen con los estudios territoriales y la cartografía temática.

En este sentido, se debe tener en cuenta que la eficiencia del empleo de las imágenes aéreas y de satélite en esta tarea sólo se logra si es posible obtener con la suficiente plenitud, certeza y exactitud la información necesaria, además de las tareas de gabinete, con un indispensable trabajo de campo proporcionado a los fines y dificultades de la investigación.

Actualmente se está ejecutando en el Instituto de Geografía Tropical de La Habana el Proyecto Científico Internacional "Telemar Caribe", en el que colaboran varias instituciones cubanas y mexicanas, el cual tiene como objetivo fundamental la evaluación de los recursos naturales de las zonas caribeñas costeras y marinas de Cuba y México mediante la Percepción Remota y los sistemas de Información Geográfica, entre otras tecnologías avanzadas.

Una de las causas fundamentales de carácter antrópico que afecta actualmente con una periodicidad alarmante los ecosistemas costeros y marinos, a nivel mundial, son los derrames de hidrocarburos que se producen de forma accidental o premeditada. En el caso de Cuba, se observan en sus costas ocasionalmente pero cada vez en mayor medida las huellas de defecto que provocan los residuales de hidrocarburo,

en la fauna marina y en el ecosistema manglar, arrojados por imprudentes embarcaciones marinas que limpian sus cisternas en las aguas oceánicas adyacentes al país, además de que se han producido accidentes como el desastre del buque petrolero *Princess Ann Mary*, en Pinar del Río.

No existen, en Cuba, antecedentes del empleo sistemático de la Percepción Remota aérea o espacial para la detección y monitoreo de derrames de hidrocarburos. A mediados de la década de los años ochenta se realizó el experimento "Plataforma III", en el cual se desarrollaron investigaciones relacionadas con la detección de manchas de petróleo en el mar mediante levantamientos aerofotográficos multizonales. Los resultados alcanzados fueron satisfactorios y se estableció la metodología científico-técnica para llevar a cabo esta tarea.

Se llevaron a cabo en esa década varios experimentos internacionales en los que participaron distintas instituciones científicas nacionales y de la antigua U.R.S.S.. Entre estos experimentos destacan: "Trópico III", "IR - 87", "Caribe - 88", "Atlántico - 89". Algunos de los experimentos nacionales más importantes fueron "Trópico I y II", "Sondeo" y "Plataforma I, II, III y IV". Estas actividades científico - técnicas permitieron la información de especialistas nacionales en el empleo de estas técnicas y métodos.

Un impulso en la asimilación de la Percepción Remota espacial en el país lo dio el vuelo espacial conjunto soviético - cubano y la colaboración científica con la antigua U.R.S.S. a través del Programa *Intercosmos* y de las investigaciones conjuntas con los servicios geodésicos y las academias de ciencias de los países socialistas. Esta colaboración científica se interrumpió a finales de la década de los años ochenta.

Actualmente, se hacen esfuerzos por adquirir imágenes captadas por la sonda HRV del SPOT y otros satélites. En la década de los años ochenta, debido fundamentalmente a la inexistencia de la tecnología necesaria (*hardware* y *software*) para el proceso digital de la información espacial, un gran volumen de datos e imágenes en formato digital, obtenidos mediante los experimentos mencionados, no pudo ser procesado y los resultados del tratamiento de los mismos han sido

parciales en la mayoría de los casos. Esta situación ha ido mejorando paulatinamente y ya algunos centros de investigación cubanos cuentan con algunos medios para llevar a cabo esta tarea, pero con limitaciones.

Las investigaciones de la presente tesis tienen como objetivo fundamental la evaluación de las tecnologías avanzadas que han sido mencionadas anteriormente para ejecutar los estudios y la cartografía temática en interés de la conservación y protección del medio ambiente, tomando como región piloto la parte suroeste de la zona costera de la provincia de Pinar del Río, lo que permitirá obtener la Base de Datos Digital y *georreferenciada* para alimentar el Sistema de Información Geográfica que se empleará por parte del Gobierno y de las instituciones estatales que son responsables de las actividades de manejo de los recursos naturales y protección medioambiental.

CAPÍTULO I: Descripción y evaluación de la zona objeto de estudio

1.1 Cubrimiento cartográfico, aerofotográfico y existencia de otros materiales.

Características de las redes geodésica y mareográfica de la zona

De la provincia de Pinar del Río, se han confeccionado distintos materiales cartográficos que aportan una variada información de la zona de estudio seleccionada, como son:

- Atlas de Cuba (1979).
- Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1986).
- Atlas regionales (Década 1980 – 1990)
- Atlas Agropecuario de Pinar del Río (1986)
- Estudios temáticos de diferentes tipos, vinculados con estudios geográficos, socioeconómicos, medioambientales, etc.

Las obras cartográficas referidas han sido utilizadas en la realización de la presente tesis, aportando una información geográfica muy útil para las investigaciones que se llevaron a cabo.

Igualmente, en la ejecución de las actividades relacionadas con el estudio y la cartografía temática de los recursos naturales y medioambientales de la zona, se pudo contar con una cartografía topográfica y náutica que abarca un rango de escalas muy amplio. El territorio investigado también está cubierto por fotografías aéreas de distintas escalas, tomadas en diferentes años y por imágenes satelitales captadas con sensores fotográficos y de barrido óptico – mecánico (*scanner*).

Entre otras fuentes de información, existentes se pueden citar las siguientes: Derroteros de la Costa de Cuba, las Tablas de Mareas, así como la cartografía de estudios temáticos (geográficos, geomorfológicos, geológicos, hidrológicos, entre otros³).

³ Las referencias a estos estudios aparecen al final de la obra en la Bibliografía

El uso indistinto de estos tipos de materiales y, en general, de la *geoinformación* existente, fue un factor muy importante en el desarrollo de la etapa preliminar de la tesis, para caracterizar, evaluar y reconocer el área de interés, lo que facilitó el trabajo. Los reconocimientos de campo aportaron informaciones que complementaron y ayudaron a detallar las características físicas, socioeconómicas y medioambientales del territorio.

1.1.1 Cubrimiento cartográfico

Desde mediados del siglo pasado, se realizó la cartografía topográfica a medianas escalas del país, lográndose cubrir prácticamente todo el territorio nacional, incluyendo la zona de las cayerías, desde la escala 1:1 000 000 hasta 1:10 000 y en regiones de interés hasta las hojas del mapa a escala 1:2 000, siendo en América Latina el único país con estas favorables condiciones de cubrimiento cartográfico. Las hojas del mapa topográfico a escala 1:250 000 se han llevado a formato digital (vectorial). Un gran número de hojas del mapa a escala 1:25 000 también está en formato vectorial.

Por otra parte, el cubrimiento cartográfico existente da la posibilidad de utilizar los mapas topográficos a escalas entre 1:10 000 – 1:50 000 con el fin de determinar las coordenadas de los puntos de apoyo para la rectificación de las imágenes de satélite, con el objetivo de obtener *espaciomapas* a escalas 1:25 000 y menores. Sin embargo, sobre la base de las tareas ya realizadas en este sentido, es necesario señalar que la falta de actualización de los mapas topográficos existentes dificulta la selección de puntos de apoyo homólogos (mapa – imagen).

Como se señaló, los mapas temáticos abarcan un amplio diapasón de aspectos de estudio y de escalas. De esta forma, y de acuerdo con las consultas realizadas, de la región existen mapas temáticos de estudios físico geográficos, socioeconómicos, medioambientales, etc., que se han realizado con el fin de elaborar los distintos atlas señalados más arriba o para otros objetivos específicos.



1.1.1.1 Mapas topográficos

Considerando la importancia del uso de los mapas topográficos en la presente tesis, se ha estimado conveniente profundizar en las características proyectivas e informativas de los mismos.

Un mapa es la representación plana de la superficie terrestre que, por su extensión y debido a la curvatura de la superficie del planeta, requiere hacer uso de sistemas especiales de transformación propios de la cartografía. (Tejera, 1974).

Según Tejera (1974), los mapas topográficos dan a conocer el terreno que representan con todos los detalles, naturales o debidos a la mano del hombre, y son, por lo tanto, las representaciones más perfectas de una superficie de la Tierra. No obstante, debe señalarse que esto no es totalmente cierto. Los mapas son un modelo bidimensional del mundo real, a una escala dada, que está representado mediante símbolos convencionales y que posee una gran carga de subjetividad, dada por los que lo han confeccionado. No son una representación fidedigna del terreno ni son una representación perfecta del mismo. Esto último se ajusta más bien a los *espaciomapas* o *fotomapas*, que son una representación fidedigna (fotográfica, óptico - electrónica o de otros tipos) de la realidad objetiva presente sobre la superficie terrestre (Álvarez Portal, 1982).

Como se dijo anteriormente, se utilizaron distintos mapas topográficos para el trabajo. La zona de Pinar del Río, al igual que todo el país, está cubierto por mapas topográficos a escalas: 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, 1:250.000 y menores (ver figura 1.1). La proyección cartográfica en la que se han elaborado dichos mapas es la Cónica Conforme de Lambert, NAD27, Cuba Norte (en el país se utilizan dos conos secantes: Cuba Norte y Cuba Sur). El elipsoide de referencia es el Clarke de 1866.

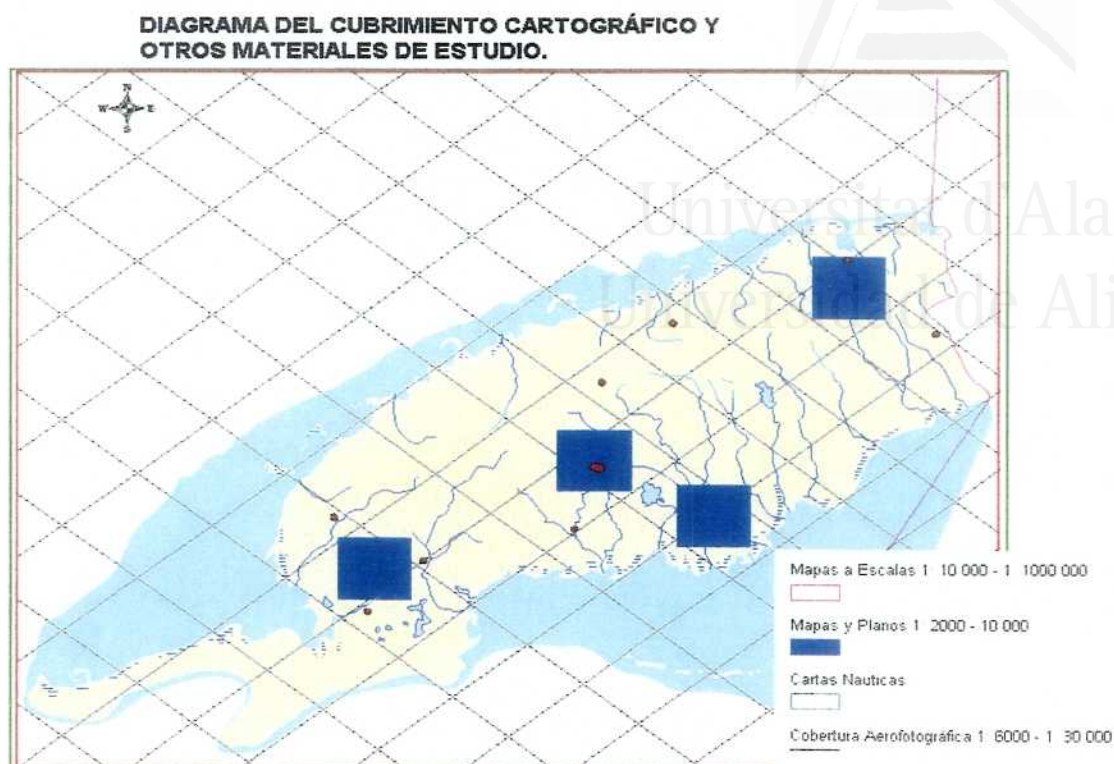


Figura 1.1: Diagrama del cubrimiento cartográfico y otros materiales de Pinar del Río y del área de estudio en particular.

No se debe olvidar un problema que se presenta generalmente en la utilización de los mapas topográficos como base para la confección de los mapas temáticos digitales: aquellos casi siempre presentan un envejecimiento tal que su contenido no refleja totalmente la realidad. La solución de la tarea de actualizar estas bases cartográficas iniciales se puede realizar de tres formas:

- Solicitando a la Unión de Empresas GEOCUBA que realice una actualización de las hojas del mapa topográfico que cubren el territorio del Proyecto antes de convertirlas en formato digital (de una escala dada) para su uso como bases cartográficas para la confección de mapas temáticos.
- Que los especialistas participantes en la investigación actualicen paulatinamente las bases cartográficas analógicas y digitales mediante distintos métodos y tecnologías y de acuerdo a las prioridades establecidas.

- Crear las bases cartográficas en formato digital, que sean necesarias para la investigación, mediante el uso de la percepción remota aérea y espacial, en combinación con los sistemas de posicionamiento global, creando *fotomapas* y *espaciomapas* a las escalas establecidas por los diferentes estudios.

1.1.1.2 Cartas náuticas

Las cartas náuticas son destinadas a la navegación y en ellas se señalan diferentes particularidades del entorno marino, principalmente las profundidades con datos batimétricos. Además, indican con todo detalle los accidentes de las costas, faros, boyas, construcciones relevantes y accidentes geográficos que sirven de ayuda a los navegantes, así como los peligros a la navegación.

De la región de estudio existen cartas náuticas que cubren toda la provincia de Pinar del Río a escalas: 1:150.000, 1:100.000, 1:50.000 y 1:10.000 (ver figura 1.1)

1.1.2 Cubrimiento aerofotográfico

Un papel muy importante en los estudios realizados lo jugaron las fotografías aéreas y la fotointerpretación de las mismas, lo que coadyuvó a la disminución de los estudios *in situ*. La fotointerpretación mediante las fotografías aéreas permitió llevar a cabo, en condiciones de gabinete, un estudio preliminar que ayudó a elevar el nivel cognoscitivo de los elementos que conforman los distintos tipos de ecosistemas estudiados. Esto corroboró que este método científico – técnico permite disminuir los plazos en el complejo proceso de obtener datos para los estudios, dado por: información existente - captura de nueva información mediante fotointerpretación - nueva cartografía más actualizada - nuevo enfoque sobre el estado del medio ambiente - toma de decisiones, como se refleja en la figura 1.2.

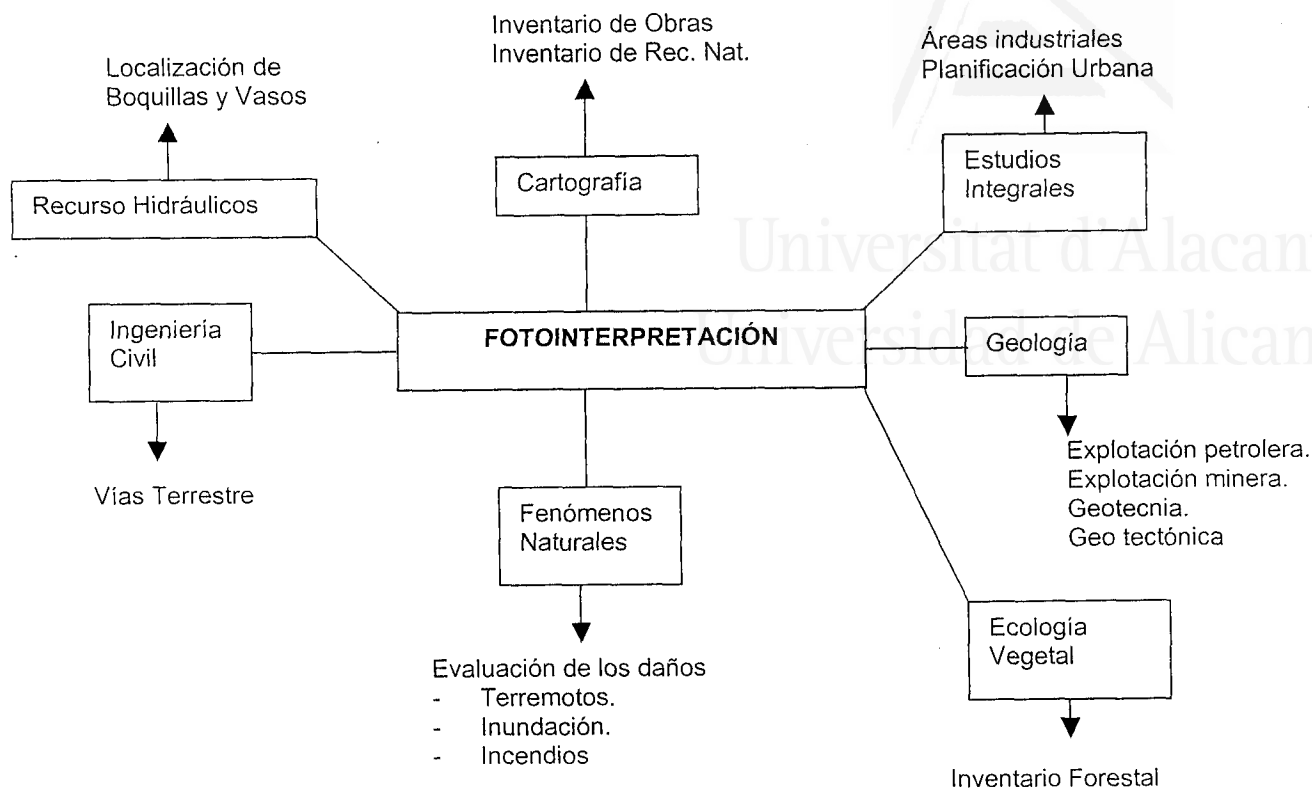


Figura 1.2: Usos más importantes de la Fotointerpretación.
(Fuente: Curso Percepción Remota, México, 1995)

La eficiencia del trabajo de fotointerpretación depende, indiscutiblemente, al margen de la habilidad y experiencia del equipo humano, de distintos factores adicionales, entre los que se deben citar los siguientes:

- Escala de la fotografía.
- Calidad fotográfica de las imágenes
- Fecha de adquisición
- Resolución del sistema fotográfico
- La nitidez y contraste de tonos
- La cantidad de sombra de los detalles
- Nubosidad presente en los fotogramas
- Corrimiento (desenfoco) de los objetos en la imagen, debido a la velocidad relativa avión-terreno
- Paralaje estereoscópico.
- Exageración vertical.

1.1.2.1 Base fotográfica empleada

La fotografía aérea es una representación fotográfica de la superficie terrestre que muestra todas las características naturales, es decir la topografía, la cubierta vegetal, así como la actividad antropogénica o labor del hombre: las edificaciones, la infraestructura vial, entre otras. Pero también muestra con mucha actualidad, de forma bastante detallada, la actividad negativa del hombre sobre esa misma superficie terrestre, que ha afectado grandemente en la zona la estabilidad medioambiental. Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se han utilizado tres vuelos fotográficos tomados en etapas diferentes: el levantamiento realizado entre 1956 – 1957; el que se llevó a cabo a principios de la década de los años setenta del siglo pasado 1970 – 1973 y el llevado a cabo los años 1997 – 1999, oscilando cada uno de ellos entre un promedio de 20 años aproximadamente, lo cual nos dio una valiosa información sobre los cambios espacio – temporales ocurridos en los últimos 36 años del siglo XX.

Además, en los estudios se utilizó una imagen LANDSAT – 7 del año 2000.

1.1.3 Otros documentos y materiales

Como se señaló, el país cuenta con el Derrotero de las Costas de Cuba, estructurado para su edición en dos tomos: el Tomo I, que comprende la región marítima del Norte, y el Tomo II, que abarca la caracterización de la región marítima del Sur. En ambos se agrupan en capítulos los datos necesarios para la navegación de recalada o a lo largo de la costa en distintas secciones de esas regiones marítimas, diferenciadas en su continuidad por el carácter que presentan la costa, y la cayería adyacente que condiciona la navegación para cada sección.

En el Tomo I se presenta un resumen general con datos geográficos de navegación e hidrometeorológicos para las dos regiones marítimas: en el Tomo II existe un apéndice con tablas y un vocabulario de términos y frases (español – inglés) de interés para los navegantes. Al final de cada tomo se ofrece un índice alfabético de los objetivos costeros descritos.

En el presente trabajo se utilizó específicamente el Tomo II, que describe las costas del litoral Sur; esta descripción aparece ordenada de Este a Oeste.

1.1.4 Red Geodésica Nacional

La Red Geodésica Nacional de la República de Cuba se ha desarrollado según las capacidades económicas e intereses del país, tanto desde el punto de vista económico, político y defensivo, así como considerando los patrones internacionales más exigentes.

Como principales trabajos geodésicos ejecutados en el territorio nacional, se pueden citar los siguientes:

1912: Se realizaron trabajos astrogeodésicos ejecutados por la oficina Hidrográfica de Washington, determinándose veintitrés estaciones en todo el litoral de la República. Veinte años más tarde, para la seguridad de la navegación, la Oficina Hidrográfica del Departamento de la Marina de EEUU realizó trabajos oceanográficos y desarrolló la red de tercero y cuarto orden de las costas y cayos de Cuba.

1939: El Servicio Geológico de los EE.UU., con el objetivo de realizar la explotación de minerales estratégicos, ejecuta observaciones astrogeodésicas, mediciones de base y de triangulación.

1940 a 1950: En esta década, Cuba se integra a las actividades desarrolladas por el Servicio Geodésico Interamericano (IAGS); se unifican los sistemas geodésicos del hemisferio. Hasta 1958 la red se encontraba desarrollada por el centro de la isla desde Occidente a Oriente, y compuesta por tres arcos entre bases astronómicas seleccionadas.

El enlace de la Isla de la Juventud, antigua Isla de Pinos, se realizó mediante observaciones directas. El control geodésico planimétrico se desarrolló por los métodos de poligonometría y triangulación, principalmente para el segundo y tercer

órdenes, y se usó la poligonometría para el establecimiento de las estaciones correspondientes al tercer orden para ser empleadas en los trabajos de cartografía.

1950: Se proyectaron trabajos geodésicos para el enlace electrónico desde la Florida con la Isla de Cuba y así transmitir el **datum** Norteamericano de 1927 (NAD 27). Estos mismos trabajos volvieron a desarrollarse en 1951 – 1953 por el método de distanciometría de alta precisión; las estaciones que fueron seleccionadas para el enlace pertenecían a la red fundamental de triangulación. Al concluirse los trabajos, todas las estaciones quedaron referidas al NAD 27, alcanzando ésta una precisión de 1: 113 000, por lo que la base planimétrica quedó compuesta por 87 estaciones de primer orden y 181 estaciones desde el segundo hasta el tercer orden.

En estos trabajos se determinaron nueve estaciones pertenecientes a la red astrogeodésica, utilizándose los parámetros y métodos seleccionados de alta eficiencia. Para el cálculo se emplearon los catálogos generales de Boss y el FK – 3.

1970 – 1973: Se desarrollan otros trabajos geodésicos con la colaboración del Servicio Geodésico de la antigua Unión Soviética. En esta etapa fue modernizada la Red Geodésica Nacional, incluyéndose en ésta los arcos fundamentales y suplementarios de primer orden creados hasta 1970, reobservándose alrededor de 168 estaciones de triangulación y ,total o parcialmente, las direcciones horizontales en estas estaciones. Al concluir la modernización de la red de triangulación que cubre el territorio nacional ésta quedó conformada por 235 estaciones de primer orden, 15 bases y 28 estaciones Laplacianas, las alturas de estas estaciones se determinaron mediante nivelación trigonométrica. De las 28 estaciones de primer orden, 25 fueron determinadas por observaciones astronómicas y para su cálculo se empleó el catálogo fundamental FK – 4.

Para los trabajos geodésicos se adoptó la estación Limones, ubicada prácticamente en el centro del país, en la que se hicieron coincidir el geoide y el cuasigeoide y la normal. El acimut geodésico de la dirección Limones – Piedra y las coordenadas de la estación Piedra, se determinaron mediante el acimut y el lado base Limones – Piedra.

1974 – 1983: Se desarrolló la red de segundo y tercer órdenes por los métodos de triangulación y poligonometría, estableciéndose 490 estaciones de segundo orden y 1903 de tercer orden.

1981 – 1985: Se desarrolló la red de cuarto orden con 3500 puntos, y en 1985 – 1990 se densificó la red de 4to orden y la de 1ra categoría, determinándose alrededor de 28 806 estaciones, incluyéndose en esta red planimétrica la del metro de Ciudad de la Habana.

Como se señaló más arriba, el sistema de coordenadas del territorio se encuentra compuesto de dos sistemas de coordenadas planas rectangulares basados en la Proyección Cónica Conforme de Lambert, con dos conos denominados Cuba Norte y Cuba Sur con sus parámetros fundamentales bien establecidos. Estos conos se encuentran solapados entre las longitudes $79^{\circ} 00' W$ y $77^{\circ} 40' W$.

En 1990 se proyecta la modernización de la red y ampliación de la red de estaciones Laplacianas, realizándose la orientación de las redes geodésicas, transmitiéndose las coordenadas astronómicas a los puntos *doppler* y densificándose la red astrogeodésica hacia regiones de importancia para la nivelación astrónomo – gravimétrica.

Las redes altimétricas fueron creadas a partir de 1949 y se desarrolló una línea de nivelación de alta precisión con origen en el mareógrafo de Casablanca, formándose varios circuitos cerrados de mareógrafo a mareógrafo.

Esta red se encontraba compuesta de una red básica y otra secundaria, constituidas por estaciones de segundo y tercer orden. La red quedó compuesta por 4372 Km de primer orden, 354 Km de segundo orden y 78 Km de tercer orden, con una densidad de 1 estación cada 3 Km², resultando en total 24 polígonos. En esta ocasión la Isla de la Juventud no fue incluida en la red.

En 1970 se desarrolla la modernización de la red altimétrica, formándose 6 polígonos y uno en la Isla de la Juventud, empleándose el método de coincidencia con dos pares de pines y en sentido directo e inverso. La red mareográfica había aumentado a 5 estaciones, distribuidas de la siguiente forma: 4 en la región Norte y 1 en la región Sur de la República.

En la actualidad, la red parte del mareógrafo Siboney (Datum Altimétrico de Cuba) ya que el de Casablanca se destruyó, tomando el nombre de Datum Siboney, cuyo valor inicial coincide con el monumento doble de nomenclatura HM-36-MD2. En 1984 finalizaron estos trabajos, quedando la red altimétrica nacional compuesta de 32 324 Km, de los cuales 2 992 Km pertenecen al 1er orden, 3 144 Km al 2do orden y 5 549 Km al 3er orden. La red de 4to orden alcanza 20 639 Km y un total de 26 777 estaciones, para una densidad de 1 estación por cada 4Km².

Los mareógrafos se encontraban ubicados en los siguientes poblados: San Antonio, Siboney, Isabela de Sagua, Gibara y Casilda⁴.

1.1.4.1 Red Gravimétrica

Los datos que a continuación se van a relacionar sobre la Red Gravimétrica Nacional se obtuvieron de de Álvarez Portal, 1995a.

En dicho documento se plantea que en el año 1967, en colaboración con la ex-URSS, se efectuó el enlace gravimétrico pendular Postdam – Habana, estableciéndose la Red Gravimétrica Nacional con el propósito de realizar estudios de la superficie del planeta y determinar las ondulaciones del Geoide, tomándose una estación de referencia relacionada con el International Gravity Standardización Net 71 (IGSN 71).

En 1974 se efectuaron mediciones pendulares permitiendo obtener 6 enlaces con un error de ± 0.16 mgal con relación al IGSN 71. De aquí se constituyeron 146 estaciones, de las cuales 49 pertenecen al 1er orden, enlazadas directamente a las

⁴ La información antes referida se obtuvo del documento “*Historia de la Cartografía en Cuba*” del año 2000.

estaciones pendulares, y 53 al 2do orden, obteniéndose una densidad de 1 estación por cada 519 Km². El Datum Gravimétrico se encuentra muy cerca de la estación Datum del sistema planimétrico (estación Limones).

La red gravimétrica para el 3er orden se realizó en las estaciones de triangulación pertenecientes al 1er orden y en las líneas de nivelación de 1ro y 2do orden para el establecimiento del sistema de alturas normales.

El ajuste conjunto de los enlaces pendulares y gravimétricos de los puntos complementarios y de satélites dieron como resultado, después del ajuste conjunto, un EMC respecto a la estación gravimétrica fundamental ± 0.041 mgl para las estaciones de 1er orden y ± 0.020 mgl para las estaciones complementarias y satelitales.

El ajuste de la red de segundo orden se llevó a cabo adoptando como inicial los valores de g del 1er orden. Los EMC de los valores ajustados con respecto al punto gravimétrico fundamental es inferior a ± 0.08 mgl. Tras el ajuste de los enlaces entre las redes de primer y segundo órdenes de los años 1966-1967 con las redes de primer y segundo órdenes de los años 1984-1986 y tomándose los valores de g de las redes nuevas, no exceden los ± 0.08 mgl.

De aquí quedaron constituidos 3 polígonos gravimétricos de alta precisión; con ello fue posible la creación de los mapas de anomalías de Bouguer, a las escalas 1:50 000 y 1:1 000 000, así como la base de apoyo para los levantamientos gravimétricos.

1.1.4.2 Trabajos de Geodesia Física

Con el objetivo de realizar estudios de la figura de la Tierra en los límites del territorio y la determinación de los valores para la reducción de las mediciones geodésicas por el método de proyección, fue realizado el cálculo de la línea vertical y las alturas del cuasigeoide en la República de Cuba, ya que era necesario conocer los valores de las desviaciones de la línea vertical y las anomalías de las alturas con una

precisión superior a 1,5" y 3 mts en cada estación de primer y segundo orden.
(Álvarez Portal, 1996)

- Estudios geodinámicos

Los estudios geodinámicos se han realizado intensamente en el polígono geodinámico de Santiago de Cuba, el cual se encuentra compuesto de 32 estaciones de triangulación de primer orden con distancias que van desde los 4 Km hasta los 18 Km, cuyas alturas fueron determinadas por nivelación geométrica de IV orden.

Para la determinación de la línea vertical en el polígono se determinaron las coordenadas y el acimut astronómico de alta precisión en 3 lados bases, así como las coordenadas astronómicas con precisión entre 1" y 2" en el resto de la red. Hasta el momento se cuenta con 14 ciclos de nivelación y más 1 000 estaciones de primer orden.(Álvarez Portal, 1996)

- Empleo de los métodos de geodesia por satélites

Desde 1970 y como parte del Programa Espacial Internacional, en diciembre de 1985 y hasta enero de 1986, la estación de Santiago de Cuba participa en la campaña de observaciones conjuntas al SAT Lagios con otras estaciones del planeta, obteniéndose precisiones en la determinación de sus coordenadas entre 4 y 6 cm.

Desde 1994 el rastreo continuó en el marco del Servicio internacional GPS para la geodinámica (International GPS Service for Geodynamics - IGS) y fue instalado un receptor GPS geodésico Trimble SSE.

En el período de 1989 a marzo de 1990 se desarrolló la campaña *Doppler*. De esta forma aumentó la precisión de los datos de la red astrónomo – geodésica al incluirse los resultados de la campaña en el ajuste conjunto.

La red *Doppler* quedó compuesta de 14 estaciones, de las cuales 6 de ellas se encuentran en zonas de cayerías. (Álvarez Portal, 1996)

En la actualidad, se cuenta tanto con todos los datos de anteriores trabajos como la red de posicionamiento por SAT (GPS), para la cual se desarrolló una campaña en la cual se determinó un numeroso grupo de estaciones y líneas bases, obteniéndose muy buenos resultados en la exactitud.

Como conclusiones, se puede afirmar que la densidad de puntos de la Red Geodésica Nacional en la región de estudio, asegura la ejecución de cualquier tipo de trabajo vinculado con la cartografía y el uso de la Percepción Remota en interconexión con los GPS.

1.1.5 Tablas Mareográficas

La superficie real del océano no se mantiene en reposo, sino que cambia constantemente su posición bajo la influencia de muchas fuerzas variables, entre ellas se hallan las generadoras de la marea, que deben su origen a las diferentes posiciones ocupadas por la Luna y el Sol respecto a la Tierra, provocando movimientos de ascensos y descensos periódicos que se observan en la superficie del mar, los cuales constituyen propiamente el fenómeno de la marea.

La amplitud de la marea en una localidad se define como la diferencia entre las alturas de las pleamares y las bajamares allí ocurridas. Este parámetro fluctúa a escala mundial entre límites bastantes amplios, así como por ejemplo, en la Bahía de Fundy (Canadá), donde alcanza hasta 18 metros de altura, mientras que en el mar Báltico, situado en la misma latitud, es prácticamente nulo. En ello influye de forma considerable las llamadas condiciones de contornos del lugar, tales como la configuración de la costa y topografía del fondo, entre otras. (Informe de Tablas Mareográficas, 2001)

En el caso de las costas de Cuba, la **amplitud promedio** de la marea es relativamente pequeña, ya que no sobrepasa el metro. En la costa Norte este parámetro aumenta hacia el Este, alcanzándose los mayores valores entre Isabela de Sagua y Baracoa, aunque sin exceder los 70 cm. En la costa Sur oscila alrededor

de los 22 cm desde Cabo de San Antonio a Tunas de Zaza y a lo largo del borde exterior de la plataforma suroriental, hasta llegar a las inmediaciones de Chivirico y al Sur de la Sierra Maestra. A partir de este punto, el factor analizado experimenta un ligero aumento hacia el Este sin sobrepasar los 45 cm.

De acuerdo al perfil diario que en el transcurso del mes presenta la curva real que describe la variación del nivel del mar, la marea de una localidad puede clasificarse como:

- **Marea semidiurna:** cuando ocurren dos pleamares y dos bajamares cada día, con un carácter sinusoidal casi perfecto. En la costa Norte, este tipo de marea se observa desde Isabela de Sagua hasta Caibarién, en Cayo Francés y Paredón Grande, y además en Puerto Padre e interior de Bahía de Nipe. En la costa Sur acarrea mareas semidiurnas en Manzanillo, Bahía de Cienfuegos y región Occidental del Golfo de Ana María.
- **Marea diurna:** con solo una pleamar y una bajamar cada día, no se presenta en ningún lugar de las costas de Cuba
- **Marea mixta:** la cual en el transcurso de una quincena varía su período de semidiurno a diurno y viceversa, sufriendo una modificación cíclica en las alturas de las pleamares y bajamares. (Informe Tablas Mareográficas, 2001)

Si durante la quincena en cuestión, prevalece el comportamiento semidiurno, la marea se dice que tiene un carácter mixto semidiurno. Este es el tipo de marea que predomina en las costas de Cuba.

A pesar de que la amplitud de la marea en las costas de Cuba no es muy significativa, las corrientes asociadas a este fenómeno alcanzan valores considerables. En los canales de entrada de las bahías de bolsa y en las pasas entre cayos (ver figura 0.1), resulta arriesgada la navegación debido a las elevadas velocidades que alcanzan en ellas las corrientes de marea, que en ocasiones exceden los 125 cm/s.

Conocer el parámetro de marea en cada localidad tiene una gran importancia, no solo desde el punto de vista de la seguridad marítima, sino también por su gran aplicación en las construcciones costeras, trabajos hidrográficos, determinación de planos de referencia confiables desde el punto de vista geodésico, etc.

En las costas de Cuba, la marea anual del nivel medio mensual o lo que es igual, su variación a través del año, está determinada por el valor que presentan las alturas de las componentes de largo período solar anual **Sa** y solar semianual **Ssa**.

En principio, estos dos armónicos tiene un origen astronómico en tanto surgen de los valores paraláctico y declinacional solar; pero aparecen reiteradamente en la naturaleza reforzados por cambios de origen meteorológico. Tal es el caso de lo que ocurre en las costas de Cuba, donde alcanzan valores de alturas comparables a los de onda lunar principal semidiurna **M2**, y conforman una onda resultante (**Sa + Ssa**) de período igual a un año.

Estos armónicos no influyen sobre la amplitud de la marea, pero si modulan la curvatura diaria a través del año. La resultante, presenta en general sus valores mínimos a comienzos del año, entre febrero y marzo, con un máximo alrededor de septiembre u octubre. En la costa norte, su amplitud total aumenta hacia el Este de Cabo de San Antonio a Gibara y en la costa Sur, disminuye ligeramente de Casilda a Cabo Cruz.

Las variaciones estacionales del nivel, gobernadas por esta resultante, provocan diferencias comparables a la amplitud de la marea.

"Tablas de Marea, Costas de Cuba" es una publicación oficial del Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba, que contiene los pronósticos de marea para los principales puertos y localidades de las costas cubanas; éstas se publican ininterrumpidamente desde el año 1974, en que apareció el primer volumen editado por la Academia de Ciencias de Cuba, con los pronósticos para 32 localidades.

Los cálculos han sido efectuados por el grupo de Mareografía de la Unión de Empresas GEOCUBA y procesados digitalmente con el "Sistema de Marea", confeccionado especialmente con este propósito. Se han empleado los datos de alturas horarios de las mareas recopilados en las estaciones permanentes que integran el proyecto Red Mareográfica Nacional, los cuales son emitidos por las agencias y empresas de GEOCUBA, distribuidas a lo largo del país, así como el material existente en archivos del Servicio Mareográfico, procedente de estaciones que funcionaron con carácter provisional en el marco de proyectos oceanográficos e hidrográficos de carácter nacional e internacional.

Los pronósticos de las mareas de 36 puntos se realizaron empleando juegos de constantes armónicas calculadas a partir de las series de alturas del nivel del mar propia de la localidad.

En el área de estudio, en La Coloma, figura 1.4, se encuentra una estación permanente de la Red Mareográfica Nacional. El carácter de la marea es mixto semidiurno, con una amplitud media de solo 0,18 m. La pleamar mayor de cada día ocurre aproximadamente 10 horas y 15 minutos después del paso de la Luna por el meridiano local. Con vientos del Sur al Suroeste, el nivel del mar puede aumentar ligeramente y disminuir con vientos del Norte al Noroeste.

Este estudio mareográfico se hace, entre otras cosas, para saber las condiciones de la marea en el momento de la toma de la imagen del satélite el 15 de noviembre del 2000.

1.2 Caracterización general de la zona de estudio

La zona de estudio seleccionada para la presente tesis, es una franja del litoral costero Sur – Oeste de la provincia de Pinar del Río, de alrededor de 5 km de ancho, que se extiende a lo largo de la costa, desde Ensenada de La Coloma en Punta Fisga (coordenadas X = 226 200 ; Y = 262 250) hasta Punta del Coco (coordenadas X = 246 600; Y = 193 000). Los datos señalados han sido tomados de las hojas de los mapas topográficos a escala 1: 50 000: 3582- IV. (Alonso de Rojas) y 3483 – III (Cortés). La zona de estudio cubre también un espacio marítimo, por lo que en el

territorio seleccionado interactúan tres medios naturales: terrestre, marítimo y aéreo; de ahí que en el estudio preliminar de la zona se describan los mismos de forma general en el análisis físico – geográfico. El área de estudio se puede apreciar más en detalle que en la imagen de la figura 0.1, en la figura 1.3. que aparece a continuación

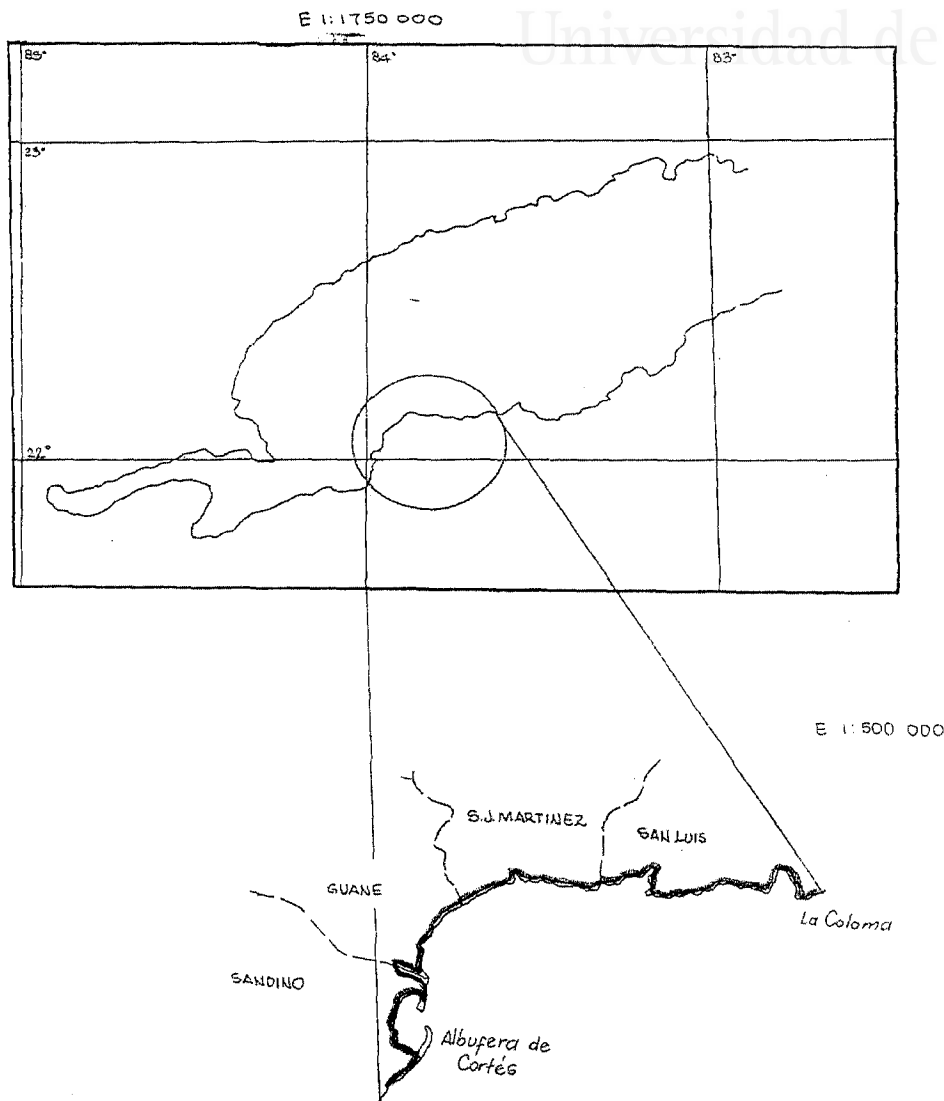


Figura 1.3: Área de Trabajo: Fragmento de de la zona costera sur – oeste de la provincia de Pinar del Río.

1.2.1 Análisis físico geográfico

El análisis físico geográfico se realizó teniendo en cuenta la metodología propuesta por Barragán, J. M. 1994 para el estudio de zonas costeras, enriquecida según criterios de la autora.

1.2.1.1 Descripción física del área de estudio

Desde punta Fisga a punta Santo Domingo

a) Ensenada de La Coloma

Penetra en forma de “V” invertida en la costa noroeste del Golfo de Batabanó, entre Punta Fisga y Punta Santo Domingo, (ver figura 1.4). De la costa nordeste, muy accidentada, baja, cenagosa y cubierta de mangles, sobresale punta Piñeiro, 4.5 millas al noroeste de Punta Fisga, y de la costa noroeste, baja y bordeada de mangles con extensos segmentos de playas, se destaca el poblado y la playa Las Canas, así como punta Santo Domingo. En el interior de la Ensenada desemboca el río La Coloma, en cuya margen oeste está enclavado el puerto pesquero y pueblo de La Coloma. Algunos de estos accidentes se destacan en las imágenes de satélite y se interpretan muy bien en las fotografías aéreas. En la entrada de la ensenada las profundidades son de 4 – 5 m, y de 2.4 – 3 m desde la costa nordeste hacia el centro. El bajo costero, a menos de 2 m de profundidad y con una pendiente muy suave, es significativo en la costa nordeste, de donde sobresale hasta 6.1 millas al Oeste de Punta Fisga.

En la parte más profunda de la ensenada y a la altura del río Itabo, se observa un canal dragado que conduce al puerto de La Coloma. Este canal con es de pendiente suave, hasta los 3 – 3.8 de profundidad, más elevadas en la banda oeste, donde a causa de los depósitos del propio dragado se han formado cayos y bajos que velan en muchos sitios. Se observan pendientes más inclinadas al llegar a la boca del río La Coloma, donde se registran profundidades de 3 – 5 m. El relieve submarino del río, a partir de la entrada, se eleva y cae suave con tendencias a aumentar las profundidades río arriba, donde alcanza 5 – 6 m. El fondo de la ensenada es de arena gris, con conchuelas en las partes más profundas, y en el Río son de fango arenoso gris.

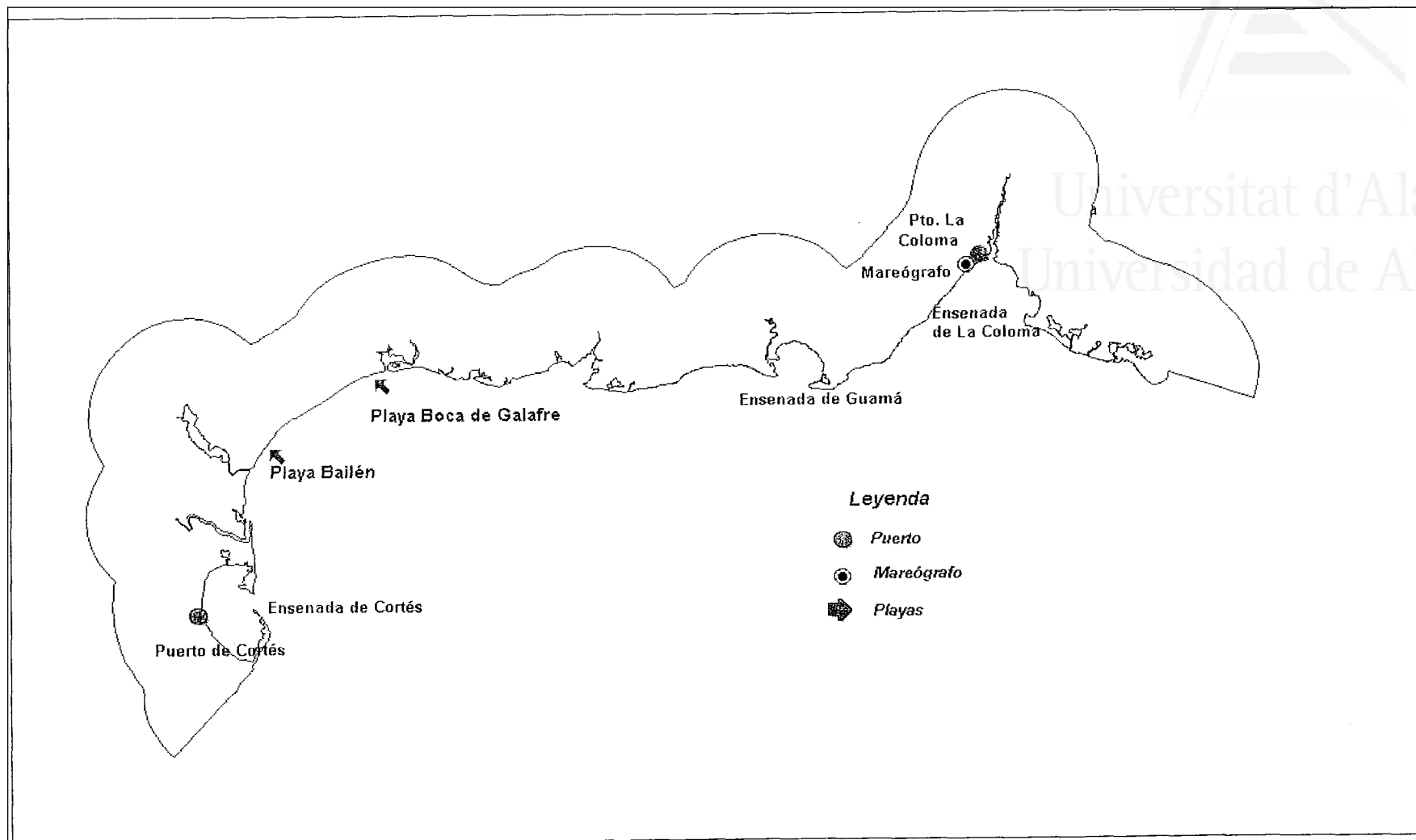


Figura 1.4: Ubicación de elementos físicos del área de estudio.

En la ensenada de La Coloma predominan los vientos de segundo y tercer cuadrante, que rotan al cuarto y primer cuadrantes con el paso de los frentes fríos. Las intensidades de los vientos son de 4 – 6 nudo y aumentan con la presencia de turbonadas y otros fenómenos meteorológico de gran energía. Las nieblas son poco frecuentes y su ocurrencia fundamentalmente es en el invierno, caracterizado por su poca duración y rápida disipación en horas de la mañana. La nubosidad es de 6/8 en el verano y 5/8 en invierno.

En esta zona del puerto de La Coloma y sus accesos, son débiles las corrientes, con alto por ciento de calmas, provocadas por la acción del viento. Las mareas son poco significativas para la navegación y presentan las mayores alturas o pleamar a las 10.15h después del paso de la luna por el meridiano local (establecimiento del puerto). La amplitud media de la marea es de 0.17 m, con valores máximos de 0.3 m, y mínimas de 0.5 m. El carácter de la marea es semidiurno irregular. Con vientos del sur al sureste, el nivel del mar puede aumentar ligeramente y disminuir con vientos del norte a noroeste.

b) Puerto de La Coloma

Está situado en la desembocadura del río de ese nombre (ver figura 1. 4), a donde llega un canal dragado que cruza paralelo a la costa oeste de la ensenada de La Coloma. La principal actividad económica de este puerto es la pesca y en el mismo radican las instalaciones de un Combinado Pesquero Industrial, con numerosas embarcaciones menores. Otras actividades portuarias son el tráfico de pasajeros y cabotaje con el puerto de Nueva Gerona. El calado oficial en el interior del puerto es de 2.7 m y en el fondeadero ubicado en el área exterior es de 4.5 m. En el puerto de La Coloma existe un varadero para la construcción y reparación de embarcaciones menores.

c) Canal Dragado de La Coloma

Conduce al Puerto de La Coloma desde un punto situado a 4 millas al nordeste de punta Santo Domingo, siguiendo un curso recto en dirección nor – nordeste, próximo y casi paralelo a la costa noroeste de la Ensenada de La Coloma, a la que se acerca llegando al Río de ese nombre. A causa del dragado en la banda noroeste del Canal

se han formado varios bajos a menos de 1 m de profundidad, sobre los que crece el mangle. El canal tiene una longitud de 2.6 millas, un ancho de 40 – 50 m y profundidades de 3.8 m cuando cruza la Ensenada, y 3 m en el río, donde se ha dragado una dársena con profundidades de 3 – 3.5 m. El calado máximo para navegar el canal es de 2.7 m.

d) Poblado Las Canas

Situado en la costa noroeste de la ensenada de La Coloma, comprende una notable hilera de casas, construidas a lo largo de la costa. En el poblado crecen casuarinas y otros árboles frondosos. Su población se dedica a la pesca. Se comunica por carretera con el pueblo La Coloma, distante a 7 Km.

e) Río La Coloma

Desemboca en el interior de la Ensenada de ese nombre. Posee profundidades de 3.3 – 5 m. En la margen oeste de la entrada al río se hallan las instalaciones portuarias y el pueblo. A la distancia de 1.2 km río arriba, el cauce se estrecha a 150 m y las profundidades llegan a 4.4 – 6.8 m, después disminuyen.

f) Playa Las Canas

La playa Las Canas se localiza en el municipio de Pinar del Río en las coordenadas geográficas X = 221 305 y Y = 833 532. Presenta una longitud total de 2 360 m subdividida por un estero. En el sector este se localiza el poblado del mismo nombre.

La franja de arena del sector Este tiene un ancho promedio de 8 m, mientras que el sector oeste es de una longitud de 360 m, donde se ha desarrollado la infraestructura turística de la playa, siendo el ancho promedio de la franja de arena de unos 40m. En general, la arena de toda la playa es areno – fangosa, aunque en el tramo que se explota turísticamente se hacen vertimientos de arena, conformando un perfil artificial de playa, lo que ha mejorado un tanto su calidad, que conjuntamente con las propiedades de sus aguas yodadas, forman un complemento muy agradable y sano fundamentalmente para personas con problemas de enfermedades de vías respiratorias.

De punta Santo Domingo a Cabo Francés, Ensenada de Cortés

a) De punta Santo Domingo a punta de Cartas

Se extiende 10.2 millas en dirección general oeste, es baja y cubierta de mangles, con la pequeña ensenada de Guamá al oeste de punta Santo Domingo y la desembocadura de algunos ríos y esteros poco profundos.

En esta parte de la costa existe un caserío de veraneo ubicado sobre un segmento de playa que está 2 millas al oeste de la ensenada de Guamá.

El bajo costero, a menos de 5 m de profundidad, sobresale en su parte media a unas 2.5 millas al Sur, para estrechar la comunicación con la ensenada de Cortés por esta zona.

b) Ensenada de Guamá

La ensenada de Guamá, figura 1.4, es de costa baja y cubierta de mangles, con 1,1 milla de separación entre sus puntas de entrada; recibe en su interior los ríos Guamá, Hicacos y Feo, que tienen sus entradas obstruidas por barras de arena y fango a 0,9 m de profundidad, para aumentar río arriba a 1.5 m y algo más en el río Feo.

c) Ensenada de Cortés

La ensenada de Cortés, figura 1.4, penetra en la costa noroeste del golfo de Batabanó, entre Punta de Cartas (22° 10' Norte; 83° 50' Oeste) y Punta del Coco, situada 10.5 millas al suroeste de Punta de Cartas, limitada al sureste por la parte noroeste del bajo de la Cucaña. Punta de Cartas es de costa baja y cubierta de mangles, y existe un caserío. Punta del Coco es baja, rocosa, bordeada de maleza y de vegetación arbustiva espesa, detrás de la cual el terreno es llano y cultivado. Tierra adentro y al norte de Punta de Cartas, son muy visibles las alturas de Pizarras de Sur, donde se destaca el Cerro de Cabras, con 408 m de elevación y las cimas de la Sierra de Guane, que se reconoce por la asimetría de sus pendientes. De las alturas de Pizarras del Sur la cima más alta es Loma Cantadora, que con 383 m de elevación está situada a 8.5 millas al Noroeste de Punta de Cartas.

La costa de esta Ensenada es baja y cubierta de mangles, con algunos segmentos de playa y otros algo escarpados y rocosos, cubiertos de hierbazales, a los que sigue una vegetación arbustiva costera muy espesa. Después de la línea costera, hacia el norte y noroeste, el terreno asciende suave con palmas visibles en varios sitios.

En la costa norte desembocan los ríos San Juan y Galafre 1.6 y 3 millas al oeste – noroeste de Punta de Cartas, respectivamente. Cerca de la boca de la pequeña ensenada donde desagua el río Galafre, está el poblado Playa Vieja y al oeste el de Playa Nueva o Playa Boca de Galafre. La costa oeste de la ensenada de Cortés es baja, algo escarpada y con segmentos de playas, está cortada por los ríos Sábalo y Cuyaguaje, y la boca de la laguna de Cortés, situada a unos 17 km al oeste – suroeste y 20 Km al suroeste de Punta de Cartas. A la entrada del río Sábalo, que se comunica con la laguna Cheve o Sábalo, está el caserío Bailén. En la laguna de Cortés y al oeste de la misma, está el caserío Cortés.

Bordea la costa de la ensenada de Cortés un bajo con menos de 5 m de profundidad,. En el centro de la ensenada las profundidades son de 6.2 – 7.6 m y en la entrada de 5 – 5.6 m. Esta entrada está obstruida por los bajos a menos de 5 m de profundidad, que están dispersos al oeste del bajo de La Cucaña y al este de Punta de Coco.

d) Bajo de La Cucaña

Comprende un grupo de bajos a menos de 2 m de profundidad, dispersos en la parte media del bajo a menos de 5 m de profundidad. El fondo del bajo de La Cucaña es de coral, cubierto de arena de varios sitios. Se reconoce por el color más oscuro y algo carmelitoso que presenta el agua sobre el mismo.

Próximo a la isobata de 5 m, que limita el bajo que bota al oeste – noroeste de cayo Juan García, y a 4.6 millas del bajo La Cucaña, existe otra cadena de bajos dispersos que obstruyen la entrada a la ensenada de Cortés por el Sur.

e) Río San Juan

Desemboca en la ensenada de Cortés 1.6 millas al Oeste de punta de Cartas. La ensenada del río está obstruida por una barra de arena y fango sumergida a 0,2 m de profundidad, con partes que velan. Las márgenes de este río, en la desembocadura están cubiertas de mangles.

f) Laguna o ensenada de Galafre

Situada a 3,4 millas al oeste de Punta de Cartas, tiene su entrada con 100 m de ancho, obstruida por una barra de arena sumergida a 1.3 – 1.5 m. En la entrada y margen oeste de la laguna protegida por un malecón de pilotes hincados se halla el caserío Playa Vieja son visibles cabañas y otras casas de veraneo y próxima a la punta oeste de entrada las construcciones del establecimiento pesquero. En otras partes de la laguna las orillas son bajas y cubiertas de mangles, cortada en la parte este por el río Galafre, que presenta en su boca 60 m de ancho y profundidades de 1.5 m.

g) Poblados de Boca de Galafre. (Playa Vieja y Playa Nueva)

El poblado Playa Vieja está situado 2 millas al oeste de la desembocadura del río San Juan. El poblado de Playa Nueva o Boca de Galafre, se encuentra situado al Suroeste de Playa Vieja. La actividad económica fundamental de estos poblados es la pesca. Se comunican por carretera con el poblado de San Juan y Martínez, distante a 1.5 Km al norte.

h) Playa Boca de Galafre

Se encuentra ubicada en el municipio San Juan y Martínez en las coordenadas $X = 263\ 300$ y $Y = 200\ 000$ con una longitud de 2 100 m y una franja de arena expuesta al sol que oscila entre 5 y 25 m de ancho. La calidad de la arena no es buena por el alto contenido de arcilla que contiene, las cuales se presenta con áreas areno – fangosas y fangosas. La faja arenosa sumergida abarca entre 30 y 35 m y existe abundante vegetación acuática. (Talacias) (Ver figura 1.4)

i) Playa Bailén

Situada 5 millas al suroeste de la boca de la laguna o ensenada de Galafre, constituye una extensa playa donde son numerosas las cabañas y otras construcciones de veraneo entre casuarinas, cocoteros, uvas caletas y otros árboles frondosos. Detrás del caserío crecen mangles. Tierra adentro se observa las alturas de la Sierra de los Órganos, con cimas redondeadas, y más al oeste, formando un grupo aislado, las alturas de la Sierra de Paso Real, que desde el Sureste se asemeja al rostro de un hombre de perfil.

La playa Bailén se localiza en el municipio Guane, figura 1.4 en las coordenadas $X = 258\ 200$ y $Y = 193\ 500$. Presenta una longitud total de 5 600 m y está dividida en dos sectores por el río Sábalo. El sector este está ocupado actualmente en toda su totalidad por instalaciones de alojamientos, tiene una longitud de 400 m y un ancho promedio de franja arenosa expuesta al sol de 30 m, la calidad de la arena es regular, debido al contenido de arcilla que presenta, lo que le da un aspecto fangoso en algunas zonas; a consecuencia de esto también las aguas son turbias, principalmente en el tiempo de lluvia, por el aporte de los ríos que la circundan.

j) Río Sábalo

Desemboca al sur – suroeste de Playa Bailén por una boca cubierta de mangles de 15 – 20 m de ancho obstruida por una barra de arena y fango sumergida a 0.6 – 0.8 m. Río arriba el cauce se estrecha y las profundidades aumentan hasta 4 m. En la punta sur de entrada al río hay algunos cocoteros.

k) Río Cuyaguaje

Desemboca en la costa oeste de la ensenada de Cortés 2.2 millas al sur de la boca del río Sábalo. En su entrada tiene 150 m de ancho y 1.7 de profundidad, que aumentan hasta 2.5 m río arriba. La punta norte de entrada del río constituye el extremo sur de un cayo cubierto de mangles. En la punta sur de entrada crecen matorrales. Al norte de la entrada al Cuyaguaje existe una pequeña laguna costera bordeada de mangles, cuya boca está obstruida por una barra de arena y fango emergida a 0.5 m.

l) Laguna o ensenada de Cortés

Tiene la boca 2 millas al sur de la desembocadura del río Cuyaguaje, y constituye una amplia área acuática con profundidades de 4 – 5 m, bordeada de mangles. En la orilla oeste de la laguna está el poblado de Cortés, y algo al oeste de dicho poblado una alta antena de televisión, visible desde la entrada norte a la ensenada de Cortés. En la boca de esta laguna existe un cayo cubierto de mangles, que divide la entrada en dos pasas; la del norte con 2.5 cable de ancho, obstruida en toda su amplitud por una barra de arena y fango sumergida a 1 m, y la del sur, conocida por pasa de Boca Seca, de 1 cable de ancho y profundidades de 1.8 m. Al sur de la laguna hay varios cabezos que velan. (Ver figura 1.4)

m) Poblado de Cortés

Se encuentra situado en la orilla oeste de la laguna de Cortés. Se comunica por carretera con los pueblos Sandino y Guane distantes 45 y 25 Km, respectivamente.

n) Punta del Coco

Situada en las coordenadas geográficas (22° 02' Norte; 83° 58' Oeste), a 1 milla al sur – sureste de la boca de la laguna de Cortés, es de costa baja, rocosa, bordeada de maleza, a la que sigue una vegetación arbustiva espesa.

Un bajo a menos de 5 m de profundidad bota 1.5 millas al este. Existen otros bajos a igual profundidad dispersos en la zona nordeste y este.

Hay que destacar que en el tramo del litoral costero bajo estudio, las características del mangle, en sentido general, son las mismas. Por ejemplo, los bosques de mangle son bajos, achaparrados y con poca fortaleza, desapareciendo en su mayoría la especie *Rhizophora mangle* (mangle rojo), en pocos tramos es que se encuentran algunos ejemplares.

Los esteros que permiten la entrada de agua salada al manglar no son abundantes y los que existen son naturales en su mayoría y algunos lugares, como en La Coloma, están obstruidos por las suciedades arrojadas al mar que son arrastradas por la

marea hacia la costa. Los esteros artificiales como los de la Playa Boca de Galafre son insuficientes y el diámetro de la entrada de agua hacia los mismos es pequeño.

En Playa Bailén, el manglar tiene la característica de encontrarse en el área detrás de la zona de turismo; es decir, alejados de la costa los esteros también son insuficientes, lo que hace, como se dijo anteriormente, que el bosque de manglar se debilite y en su desarrollo no alcance una altura adecuada, ni tenga la salud deseada.

1.2.2 Asentamientos y poblados

La zona costera escogida para el estudio, es una zona compleja porque a ella tributan cinco municipios de los que tiene la provincia de Pinar del Río, ellos son: Pinar del Río, San Luis, San Juan y Martínez, Guane y Sandino, cada uno de ellos tiene sus Consejos Populares con su dirección gubernamental independiente, de ahí que cada uno de los municipios tenga sus asientos poblacionales bien definidos, con sus poblados cabeceras.

Esta zona en general se caracteriza por ser un territorio poco poblado, encontrándose la mayor densidad poblacional en el municipio de Pinar del Río, donde se ubican los pueblos de La Coloma Y San Juan y Martínez con tres asientos de población, aunque la densidad sigue siendo baja en comparación con los restantes municipios de la provincia.

En la tabla 1.1 se presenta la población existente por asentamientos.(Datos obtenidos del Departamento Provincial de Planificación Física de la provincia de Pinar del Río).

Tabla 1.1: Población existente por asentamientos.

MUNICIPIOS	POBLACIÓN			VIVIENDAS			
	M	F	TOTAL	B	R	M	TOTAL
SANDINO							
Cortés Urbano	1667	1145	3412	700	60	30	793
La Colonia	41	43	84	11	6	4	81
San Ubaldo	50	63	113	78	6	38	122
Total Agrupada	1758	1851	3609	789	72	75	936
Población Dispersa							
GUANE							
Bailén	160	116	276	13	6	73	98
Paradero de Sábalo	256	238	494	85	31	39	155
Total Agrupada	416	354	770	98	37	112	247
Población Dispersa	110	92	202	12	6	54	72
SAN JUAN Y MTÍNEZ							
Campo Alegre (El Coim)	62	60	122	20	10	6	36
Pamplona	41	43	84	11	—	7	18
Boca de Galafre	576	554	1130	214	127	200	541
Total Agrupada	679	657	1336	245	137	213	595
Población Dispersa	445	378	823	8	—	109	117
SAN LUIS							
Punta de Cartas	181	174	335	21	32	88	141
Total Agrupada	181	174	335	21	32	88	141
Población Dispersa	103	108	211	12	11	61	84
PINAR DEL RÍO							
La Coloma (Urbano)	3123	2681	5804	962	26	471	1459
Las Canas	162	124	286	3	13	103	119
Total Agrupada	3285	2805	6090	965	39	574	1578
Total Población Agrup.	6319	5841	12160	2118	317	1062	3497

NOTA: Falta la población dispersa en el Municipio Sandino, que hasta el momento no se ha podido determinar.

1.2.3 Tenencia

El litoral Sur de la zona de referencia está ocupado fundamentalmente por la Empresa Forestal, con un total de 8 816. 94 hectáreas, y la Empresa Pecuaria, con un total de 8 159.36 hectáreas, correspondiendo el resto al Sector Cooperativo y Campesino, así como a los asentamientos poblacionales y a los viales que corresponde al Poder Popular.

Estos datos se pueden apreciar en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: Áreas en hectáreas por empresas en los diferentes municipios.

TENENCIA	P. del Río	San Luis	San Juan	Guane	Sandino	Total
Empresa Forestal	671,00	3690,5	1704,34	106,5	1744,6	8816,94
Empresa Pecuaria	201,3	4844,62	2160,62	952,82	–	8159,36
Sector Coop. y Campesino	–	174,46	–	–	738,1	912,56
Poder Popular	77,56	49,38	106,82	63,34	65,76	362,87
TOTAL	949,87	8768,96	3971,78	2022,66	2548,46	18251,73

1.2.4 Uso del Suelo

La zona se encuentra enclavada en una llanura costera muy baja sobre depósitos de mangle de edad cuaternaria, compuesta por limos arcillosos y arenosos con turba con biógena. El suelo que yace sobre estos materiales es de serie *saranton*, siendo poco profundo y poco drenado con categoría agroecológica baja. La escasa profundidad del manto freático y su salinización constituyen un factor negativo en las condiciones higiénico geológicas del suelo.

Todas las áreas se encuentran erosionadas en mayor o menor grado, pero se destacan por su menor grado de erosión la zona más llana, ocupada por los suelos aluviales y arenosos cuarcíticos.

Los bajos valores de pendiente provocan que existan en la zona, de forma general, un deficiente drenaje, dando lugar a empantanamientos en las zonas más bajas.

Con relación al uso del suelo, como se muestra en la figura 1.5, esta zona se encuentra ocupada fundamentalmente por manglares en zonas bajas, con uso forestal y pasto natural dedicado a la ganadería extensiva, así como 2.455,86 hectáreas de pasto cultivado. En la zona más alejada de la costa se dedican distintos puntos a los cultivos varios correspondientes al municipio Sandino, para un área de 119,7 hectáreas, aunque la mayor parte de los suelos se caracterizan por un drenaje deficiente y se ven afectados por la contaminación de sales.

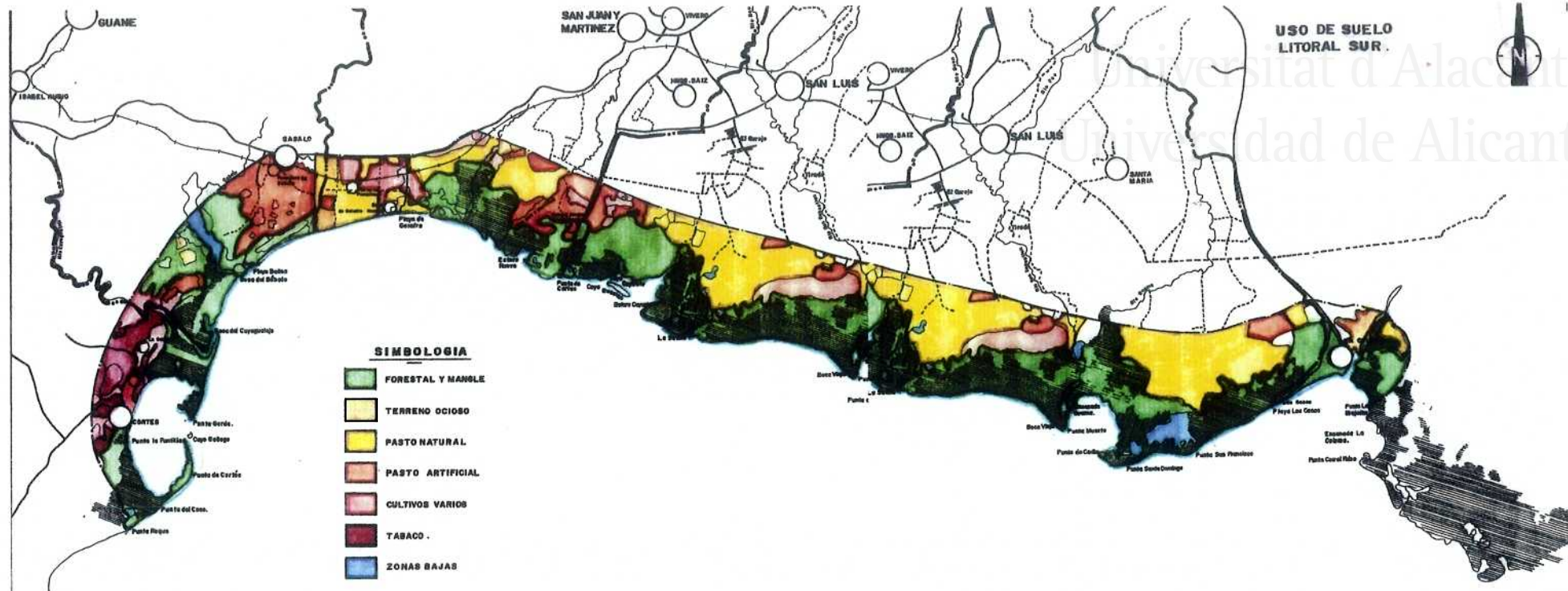


Figura 1.5 Esquema representativo del uso de suelos en el área de estudio. (Fuente: Planificación Física Pinar del Río)

En la tabla 1.3 se muestran los espacios terrestres dedicados a esta actividad.

Tabla 1.3: Áreas del suelo dedicadas a diferentes actividades por municipios.

USO DEL SUELO	P. del Río	San Luis	San Juan	Guane	Sandino	TOTAL
Forestal y Mangle	671	3690,5	1503,04	1006,5	1744,6	8615,64
Tierra Ociosa	80,52	–	201,3	80,52	–	362,34
Pasto Natural	120,78	3556,3	872,3	–	–	4540,38
Pasto Artificial	–	751,52	832,04	872,3	–	2455,86
Cultivos Varios	–	711,26	456,28	–	268,4	1435,94
Tabaco	–	–	–	–	469,7	469,7
Asentamientos	67,1	–	53,68	26,84	53,68	201,3
Viales	10,47	34,49	29,93	15,37	12,08	103,33
FFCC	–	–	10,47	6,71	–	17,18
Acuosa	–	14,89	12,75	13,42	–	41,06
TOTAL	949,87	8758,96	3971,79	2022,66	2548,46	18251,74

1.2.5 Características climáticas

La zona se caracteriza por tener un clima tropical húmedo. Los datos climáticos que se recogen a continuación corresponden a las estaciones que guardan relación de cercanía a la zona de estudio, que son: Isabel Rubio, San Juan y Martínez y Pinar del Río; en ellos se reflejan los distintos indicadores relacionados con la temperatura.

A – Temperatura Mínima Media Anual.

Estaciones:

Isabel Rubio	19,9
San Juan y Martínez	20,6
Pinar del Río	19,6

B – Temperatura Mínima Media Mensual.

	Más Baja	Más Alta
- Isabel Rubio	Febrero 15,8	Agosto 22,6
- San Juan y Martínez	Enero 17,1	Agosto 23,3

- Pinar del Río Febrero 15,9 Julio 22,5

C – Temperatura Máxima Absoluta Anual.

Isabel Rubio 32,4

San Juan y Martínez 32,1

Pinar del Río 32,7

D – Temperatura Máxima Absoluta Media Mensual.

	Más Baja	Más Alta
- Isabel Rubio	Dic. – Enero 30,3	Jul – Agos.34,1
- San Juan y Martínez	Enero 29,5	Agosto 34,9
- Pinar del Río.....	Enero 30,2	Julio 34,3

E – Temperatura Mínima Absoluta Media Anual.

Isabel Rubio 15,4

San Juan y Martínez 16,9

Pinar del Río 15,8

F – Temperatura Mínima Absoluta Media Mensual.

	Más Baja	Más Alta
- Isabel Rubio	Febrero 8,7	Agosto 20,7
- San Juan y Martínez.....	Enero 11,1	Agosto 21,8
- Pinar del Río	Enero 9,6	Julio 21,0

G – Densidad / velocidad Media del Viento (Km/h)

Tabla 1.4: Valores de la densidad media del viento en determinadas horas del día.

ESTACIÓN	HORARIO				
	7 AM	10 AM	1 PM	4 PM	3 AM
Isabel Rubio	4,7	14,0	15,6	13,9	5,2
San Juan y Martínez	2,2	7,7	10,2	9,2	3,4
Pinar del Río	3,0	11,2	12,7	12,1	4,7

H – Humedad Relativa.

La humedad media anual en la provincia es de 81%, correspondiendo al período húmedo el 83% y al seco el 79%, ésta se presenta con pocas variaciones siendo la diferencia de 1 - 3% en las estaciones meteorológicas la mayor o la menor humedad.

I – Densidad de Lluvia Media Anual.

La densidad de lluvia media anual se refleja con mayor intensidad en los meses de junio y septiembre, reportándose los mayores valores anuales en las estaciones de Pino Solo, con 1.404, y 1.716, y San Luis, con 1.242 y 1.500 mm/m cuadrado.

En la tabla 1.5 se muestran los diferentes valores de la densidad de lluvia media anual

Tabla 1.5: Diferentes valores de la densidad de lluvia media anual.

ESTACIÓN	PERÍODO	Más Alta	Más Baja	MEDIA ANUAL
		Junio	Septiembre	
Boca de Galafre	71 – 75	178	146	1074
	76 - 80	164	150	1242
Pino Solo	71 – 75	254	214	1404
	76 - 80	Mayo 268	235	1716
Cortés	71 – 75	205	154	1064
	76 – 80	239	154	1326
Isabel Rubio	71 – 75	287	181	1159
	76 – 80	189	204	1481
San Luis	71 – 75	226	191	1242
	76 – 80	185	238	1500
Galope	71 – 75	265	212	1179
	76 – 80	214	243	1659

1.2.6 Características Hidrográficas

En el área de estudio, zona del litoral, se encuentran 26 puntos de interés marítimo y terrestre, registrados en el listado de la provincia que se refleja a continuación; en ella desembocan, además, cinco ríos de relevancia provincial: Cuyaguaje y

Sábalo, en el municipio Guane, Sábalo y San Juan, en el municipio San Juan y Martínez y Guamá, en los municipios San Luis y Pinar del Río.

Los puntos de interés que se encuentran en el área son los siguientes:

A – Municipio Sandino.

- Punta Raquel
- Punta del Coco
- Punta de Cortés
- Punta La puntilla
- Cayo Gallego
- Punta Gorda

B – Municipio Guane.

- Boca del Cuyaguajeje
- Boca del Sábalo
- Playa Bailén

C – Municipio San Juan y Martínez.

- Playa de Boca de Galafre
- Estero Nuevo

D – Municipio San Luis.

- Punta de Cartas
- Cayo Guanito
- Cayo Cayuelo
- Estero Cayuelo
- Playa La Salina
- Boca Vieja
- Ensenada Guamá
- Punta Muerto
- Punta de Caribe
- Punta Santo Domingo
- Punta San Francisco



E – Municipio Pinar del Río.

- Playa Las Canas
- Punta Biajaiba
- Ensenada de La Coloma
- Punta Corral Falso
- Escurrimiento Superficial.

Ríos

Dentro de las características hidrográficas es importante señalar los principales ríos que se encuentran en esta zona, además de los mencionados anteriormente, existen otros no tan relevantes pero dignos de ser destacados porque también forman parte del drenaje superficial y que se pueden apreciar en la tabla 1.6.

Tabla 1.6: Escurrimiento Superficial de los ríos.

Ríos	Área Km ²	Longitud Km	Caudal (Media Anual) 10 ⁶ m ³	Densidad Km/km ²	Orden	Erosión Ws 10 ³ m ³ (media por año)
Guamá	268,0	75,3	108,0	0,90	1 ^{er} Orden	44,7
Río Feo	295,0	54,3	117,0	0,95	"	46,7
San Juan	129,0	39,1	79,8	1,02	"	26,9
Galafre	83,1	16,8	35,6	0,86	"	12,5
Ramones	14,2	13,0	4,73	0,79	"	2,13
Camarones	13,1	13,4	5,05	0,94	"	1,96
Sábalo	86,0	22,4	37,2	0,72	"	12,9
Naranja	27,3	12,0	16,0	0,77	"	4,10
Cuyaguaje	723,0	112,4	422,0	0,91	"	73,5

Ws – Volumen de sólidos

Cuencas

En la zona se observan las siguientes cuencas: Cuyaguaje, Sábalo, Galafre, San Juan y Martínez y Guamá, encontrándose reguladas las aguas de la Cuenca del Cuyaguaje, en su porción Sur, y las de la Cuenca Guamá, en la porción norte.

Los datos de los embalses de las presas se relacionan en la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Esguerrimiento superficial de las cuencas.

CUENCAS	ESGURRIMIENTO		W _o m ³ x10 ⁶	EMBALSES PRESAS
	Anual (MV) US/Km ³	Gasto m ³ /s		
Cuyaguaje	14,3	10,34	3680	54.6 MML
Sábalo	7,61	0,05	1,58	--
Galafre	12,05	0,78	24,7	--
San Juan y Martínez	13,5	1,81	57,1	--
Guamá	13,8	7,9	249,0	64,4

1.2.7. Actividades Turísticas

Los municipios Pinar del Río, San Juan y Martínez y Guane cuentan cada uno con un solo recurso natural de playas para el uso turístico, que son: Las Canas, Boca de Galafre y Bailén, respectivamente, las cuales tienen la mayor afluencia de visitantes en el período veraniego, fundamentalmente los meses de julio y agosto y principios de septiembre. El turismo a que se hace referencia es fundamentalmente de origen nacional y la afluencia de bañistas es principalmente de la región más occidental del país. Cuentan con diferentes tipos de instalaciones turísticas, con características aceptables para el esparcimiento de la población como:

- Bases de campismo popular.
- Bases de campismo militar.
- Cabañas y villas ofertadas por el INTUR.

Criaderos de Cocodrilos

En el municipio de Guane, en la carretera que lleva a la playa Bailén, situado como a 1 km de la zona turística de la playa y en la margen derecha del vial, se encuentra un criadero de cocodrilo, donde se reproduce una sola especie, *Crocodilos acutus*.

1.2.8 Protección

En Cuba, las áreas protegidas comprenden aquellos territorios que por sus valores naturales, recreativos, científicos, históricos y económicos, requieren de un manejo especial, mediante el cual se garantiza la protección, la reproducción y el aprovechamiento racional de los recursos en beneficio de la economía nacional y el desarrollo sostenible .

Es indiscutible que el establecimiento de un sistema nacional de áreas protegidas en nuestro país, permite una mayor eficiencia en la planificación y el desarrollo de nuestra economía, evitando la pérdida irreversible de nuestros valores y una perfecta conjugación del desarrollo económico.

La zona objeto de estudio tampoco está exenta de áreas protegidas, éstas confieren al territorio una valoración que implica la preservación de sus valores ecológicos. Las áreas son:

Áreas Protegidas

- Reserva Florística Manejada Santa Teresa.
- Refugio de Fauna Punta Caribe.
- Área Protegida de recursos naturales manejados Sabana – Lamar.
- Recursos manejados Punta Cortés.

En el mapa 1.2 se pueden apreciar la configuración espacial de las diferentes áreas protegidas de la zona, así como los asentamientos poblacionales, los focos de contaminación existentes y los pluviómetros con que se cuenta en la región.

1.2.9 Niveles de contaminación

La provincia de Pinar del Río cuenta en estos momentos con un total de 114 fuentes contaminantes principales, sometidas al correspondiente seguimiento del Centro de

Gestión e Inspección Ambiental de la Agencia de Medio Ambiente, según el inventario nacional.

A continuación, se muestra una tabla en la que se relaciona el total de fuentes contaminantes en los municipios que pertenecen al área estudiada.

Tabla 1.8: Fuentes contaminantes en los municipios interesados en la zona de estudio.

MUNICIPIOS	Industriales	Agropecuarios	Domésticos	TOTAL
Pinar del Río	12	6	10	28
San Luis	–	1	1	2
San Juan y Martínez	–	–	4	4
Guane	3	1	4	8
Sandino	1	1	5	7

Los principales focos contaminantes de la zona son: la desembocadura del río Guamá, con el vertido de los residuales de la ciudad de Pinar del Río; la desembocadura del río San Juan, con el vertido del pueblo de San Juan y Martínez, así como el pueblo de Cortés y La Coloma, con el vertido de los residuales hacia el mar, sin solución de tratamiento hasta el momento.

No sucede lo mismo con los residuos del combinado pesquero de La Coloma, el cual disminuye sus cargas con el tratamiento de los contaminantes a través de una enzima digestora.

A lo largo de la costa de la zona de estudio se encuentran los principales focos contaminantes que se relacionan en el mapa 1.2, a destacar:

- Desembocadura del río Guamá (Ciudad de Pinar del Río).
- Desembocadura del río San Juan (Pueblo de San Juan y Martínez).
- Poblado Boca de Galafre.
- Poblado de Bailén.
- Poblado de punta de Cartas.
- Pueblo de La Coloma
- Pueblo de Cortés.



1.2.10 Relieve

El relieve de la zona, por ser una zona costera muy baja, es totalmente llano, observándose alturas por debajo de la cota 30; es decir, por debajo de 10 m de altitud.

Según Díaz, S. (2002), esta zona presenta superficies aterrazadas, las cuales experimentan un cambio paragenético hacia superficies fluviomarinas, creadas por depósitos deltáicos relativamente potentes. Es un área baja del litoral, con costas biogénicas (de manglares), relieve del tipo cenagoso y de esteros.

1.2.11 Flora y Fauna

Flora

En Cuba, la vegetación de manglares está compuesta por cuatro especies arbóreas, el mangle rojo *Rhizophora mangle* L., el mangle prieto *Avicennia germinan* L, y *Laguncularia racemosa* Gaertn, mangle blanco (patabán), son consideradas como manglares verdaderos y *Conocarpus erectus* L., botoncillo (yana), como pseudo mangle o especie periferal. Pueden también aparecer otras especies como *Batis maritima*, *Dalbergia ecastophyllum*, *Acrostichum aureum* y varias especies del género Bucida, que se asocian a las áreas donde abunda *C. erectus* (yanales).

La estructura de los manglares depende de la diversidad de las condiciones ambientales de cada área. La altura de los bosques va desde rodales altos (20 – 25 m) bajo condiciones óptimas, hasta rodales achaparrados (2 – 3 m) bajo condiciones de tensión. Algunos bosques son monoespecíficos, mientras otros son dominados por una mezcla de las especies principales, por ello son posibles diversas comunidades o “tipos ecológicos”. En los sitios donde la salinidad es muy elevada son frecuentes comunidades halofitas extremas de *Salicornia* spp., *Suaeda liniaris* Moq, y *Batis maritima* L.. (Padrón, Llorente, Menéndez; 1993)

En el área que nos ocupa, los bosques de manglares generalmente tienen como característica común su morfología achaparrada.

Se han encontrado variaciones en la composición específica de los manglares, debido posiblemente a la explotación selectiva (Samek, 1974). En 1940, *Laguncularia racemosa* era la especie dominante, mientras que *Conocarpus erectus* se consideraba menos común.

Las especies de los manglares pertenecen a grupos taxonómicos diferentes, pero presentan muchas características en común, como la capacidad de adaptarse a las condiciones adversas que se presentan en estos ecosistemas. Estas características son:

- La marcada tolerancia a la salinidad sin ser necesariamente halófitas (tolerantes a alta salinidad).
- La presencia de raíces sujetadoras, estructuras respiratorias y filtradoras para el intercambio de gases en substratos anaerobios, y embriones capaces de flotar, cuyo mecanismo es la dispersión a través del agua. Entre estas adaptaciones, las más llamativas son las del sistema radicular.

Plantea Berry, (1963), y posteriormente Blaber and Milton (1990) que el mangle rojo, *Rhizophora mangle*, ocupa la primera franja de la costa; abundan fundamentalmente en el borde costero y a orillas de ríos, arroyos y esteros, pudiendo encontrarse escasamente en otros lugares; se caracteriza por poseer raíces que penetran el suelo, se ramifican y emiten una serie de raíces aéreas en forma de zancos, también llamadas raíces adventicias, con las cuales puede aumentar su superficie de sustentación de suelos inestables fangolimosos. Estas raíces poseen una serie de poros que les permiten incorporar nutrientes y realizar intercambio de gases. Este tipo de adaptación les permite estar en contacto con el agua salada.

Sigue planteando Berry 1963, ratificado por Blaber and Milton (1990), que el mangle prieto, *Avicennia germinans*, al igual que *Laguncularia racemosa*, (patabán), se

encuentran en franjas posteriores a la primera franja costera de mangle rojo o *Rhizophora mangle*, apareciendo como un bosque denso de mangle prieto asociado más adelante con patabán; éstos no forman grandes raíces en zancos, pero desarrollan pequeñas raíces adventicias que sobresalen del sustrato, caracterizadas por poseer poros respiratorios llamados neumatóforos. Estas especies no tienen capacidad de soportar sustratos tan inestables, por lo tanto se localizan en sustratos que están en menor contacto con el agua, aunque pueden ser inundados periódicamente. Siguiendo la ubicación, pero más próximos a los terrenos agrícolas de la cuenca, podemos encontrar la yana, *Conocarpus erectus*. (Berry, 1963)

Las observaciones realizadas por Bird (1980) indican que las especies presentes, sobre todo *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, poseen gran estabilidad ecológica, adaptándose a diferentes condiciones ambientales (particularmente físico - geográficas, determinados parámetros de salinidad, etc.) mostrando diferentes variantes fisonómicas, como muestra de la capacidad adaptativa de cada especie.

Fauna

Una rica y variada fauna se desarrolla en los manglares de región de Cuba, sobresalen las comunidades de aves, tanto por su abundancia como por la presencia de especies endémicas, como *Dendroica petechis gundlachi* (canario de manglar) y *Rallus longirtris caribaeus* (gallinuela del manglar). Otras especies utilizan el manglar como zona de refugio y anidamiento, tales como el pelícano *Pelecanus occidentalis*, la fragata *Fragata magnificens*, las garzas *Ajaja ajaja*, *Andrea cocci* y *Casmerodius albus*, el pato real *Cairina muschata* y el flamenco *Phoenicopterus ruber*, migratoria de gran belleza y atractivo para observadores de aves. Entre los mamíferos endémicos del manglar se destacan 5 especies del género *Capromys*: *C. pilorides*, con amplia distribución, *C. angelcabrerai*, *C. auritus*, *C. garridol* y *C. sanfelipensis* con hábitat más reducido. Entre los reptiles, destacan dos especies de cocodrilos de gran valor económico: *Crocodylus acutus* y *C. rombifer*.

En las raíces de los mangles se encuentran diversas especies de esponjas, celenterados, briozoos, poliquetos, cirripedios y moluscos, destaca por su

importancia el ostión del manglar *Crassostrea rhizophorae* (Sáenz, 1974). También son observadas abundantes poblaciones de *Uca pugilator* (cangrejo barrilete) que contribuyen con nutrientes al enriquecimiento del ambiente. Bajo la influencia de los manglares se desarrolla una rica fauna íctica, destacándose especies como *Lutjanus* spp. (pargos y cuberas), *Diapterus rhombeus* (mojarras) y *Eugerres brasiliensis* (pataos), *Tarpon atlanticus* (sábalo) y *Centropomus undecimalis* (róbalo)⁵.

1.3 Análisis de la problemática medioambiental y socioeconómica

En el tramo costero que se encuentra bajo estudio, en sentido general, los problemas medioambientales son muy significativos; todos los asentamientos poblacionales realizan los vertidos de aguas albañales hacia el mar, a excepción del poblado de La Coloma, en el que su vertido es parcial. Por ejemplo: en el poblado de La Coloma es significativo el estado deficiente de las redes de alcantarillado que cubre solamente el 40 % de la población urbana y el 4.2 % de la población rural; no sucede así con los demás asentamientos a lo largo de la costa, fundamentalmente en el poblado de Cortés, donde se adolece de un alcantarillado, por lo que los vertidos se hacen directamente en zanjas que se comunican con el mar. Por otra parte, la abundancia de las letrinas sanitarias que se encuentran muy cerca de los pozos de agua potable, al estar muy próximas al manto freático, dan como resultado frecuentes procesos contaminantes, lo que incide desfavorablemente sobre la calidad del agua potable, afectando la calidad ambiental básica de este sector.

En cuanto a su incidencia en el desarrollo de su vegetación de manglar, existe con un deterioro marcado, sobre todo en el tramo playa Las Canas – Itabo, con elevada

⁵ La información presentada en cuanto a:

- Asentamientos, Tenencia, Uso de Suelo, Características Climáticas fue obtenida del Departamento Provincial de Planificación Física de la Provincia de Pinar del Río.
- Características Hidrográficas fue obtenida de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de la Provincia de Pinar del Río.
- Protección, Niveles de Contaminación, Flora y Fauna.

fue obtenida de la Delegación Provincial del CITMA (Ciencia Tecnología y Medio Ambiente) de Pinar del Río.

salinidad, contaminación y severo ataque de plagas. En el tramo Las Canas – La Coloma el deterioro no es tan excesivo y se conservan algunas zonas como Monte Alto, cercano a La Coloma, de difícil acceso por ser un entorno pantanoso; ocurre algo similar en lugares cercanos a la desembocadura del río Guamá, también por el difícil acceso y por la existencia de cierto intercambio con agua dulce.

En los asentamientos en playas, como por ejemplo, Playa de Boca de Galafre (Playa Nueva y Playa Vieja, donde radica el poblado) y Playa Bailén, que son las playas del tramo costero en mejores condiciones y las que más afluencia de turismo nacional tienen, el manglar se encuentra detrás de las edificaciones, afectado por el proceso urbanizador, con esteros escasos.

En Boca de Galafre, el manglar está completamente aislado de la entrada de agua de mar, existiendo solamente un tubo de 40cm de diámetro para llevar el agua a un área de la margen izquierda de la playa, atravesada por un terraplén, lo que ha dividido el manglar en dos partes, quedando una de ellas totalmente aislada de los nutrientes que puede aportarle el mar, afectándose por este concepto alrededor de 12 ha de mangle, incluyendo en su interior una laguna en franco proceso de desecación, de aproximadamente 4 ha de espejo de agua con un espesor de la lámina de agua de alrededor de 50 cm. Todo el manglar de la Playa Boca de Galafre está aislado del influjo de la marea, por lo que es de predecir que en próximos años pueda desaparecer. Debe señalarse que la zona de uso turístico ha afectado, en este sentido, grandemente el desarrollo y mantenimiento del bosque de manglar.

En el tramo de Boca de Galafre a Bailén, el mangle está completamente seco, no hay drenaje de ningún tipo, tampoco hay avenidas de ríos o arroyos que transporten nutrientes a los manglares para su mejor desarrollo, dependiendo su irrigación de la marea viva; por tanto, la erosión de la costa es progresiva.

En los manglares de Bailén, se aprecia buena floración en comparación con los manglares de La Coloma; aquí la tala es por facilismo, no hay una educación del aprovechamiento del manglar.

El ancho medio de la franja de la playa es de 20 m y alrededor de 400 m de longitud, y en la zona turística se ha incrementado el número de cabañas, lo cual se ha hecho a costa de la tala indiscriminada de mangle. Hasta el momento la erosión no es de carácter crítico, ya que la franja de uva caleta es fuerte y densa, ésta tiene un ancho medio de alrededor de 15 m, se desarrolla sobre un dique natural de arena o cordón litoral, mientras que hacia el centro de la franja la configuración de la uva caleta es diferente y hacia el interior crece con fustes alargados, mayor densidad con diámetros medios, alrededor 10 cm; hacia la orilla es más fuerte, más robusta y más baja.

Terminada la uva caleta, en dirección Suroeste, se encuentra la cuenca del Cuyaguaje, donde predomina el *Avicennia Germinans* (mangle prieto) sobre *Laguncularia Racemosa* (patabán), el cual se reafirma más por el aprovechamiento indiscriminado de esta última especie, ya que ofrece una calidad superior para la obtención de carbón vegetal; en algunas partes más elevadas de la cuenca se establecen otras especies asociadas al ecosistema como: guano prieto, pastos, etc.

En la cuenca como tal, se observa escasa regeneración natural y muchos resorbas de árboles talados, siendo así que los árboles que podían servir de semillero fueron talados.

A medida que nos acercamos a la laguna, próxima a Punta del Catre, la vegetación se torna mucho más espesa, el *Ryzophora mangle* se encuentra bordeando la laguna, *Avicennia germinans*, domina la cuenca detrás del *Ryzophora mangle*, con alturas entre 5 y 8 m de altura. En esta parte, el sargazo crea una especie de barrera natural que al descomponerse y mezclarse con las partículas de arena levantan el nivel del sustrato, formando diques naturales que actúan como rompientes de ola y preservan el litoral de la erosión.

Estas costas son abrasivas con excepción de las zonas cercanas a la cuenca del Cuyaguaje.

Por un espacio de 24 horas, las mareas vivas erosionan el fondo marino depositando sobre tierra, hasta donde actúa el oleaje, un cordón de herbazales de

talacias seivadales de un metro de espesor como promedio y con 50 cm de altura, observándose esto a lo largo de 1km, aproximadamente, desde la laguna indicada hasta la boca del Cuyaguaje. En esta área, se observa una franja de 50 m por 1.000 m de pasto natural, desde el mar hasta la línea del manglar; gracias al aporte de estos herbazales se ha logrado que la erosión costera no llegue al manglar que bordea la laguna.

Estas zonas son área de influencia de los desbordes, de las avenidas del Cuyaguaje en épocas de lluvia, aportando al ambiente cargas de nutrientes y sedimentos que favorecen este tipo de vegetación, es decir, la emergencia de pastos y rodales más robustos del mangle.

En la zona de Punta del Catre, abunda la erosión y a lo largo de la costa existen diferentes focos contaminantes generados por diferentes causas, pero en su mayoría por el vertido de desechos sólidos y de aguas albañales de las poblaciones que conforman las comunidades costeras, los cuales son señalados en el epígrafe 1.2.9. Para lograr la disminución de la carga contaminante en todos ellos es necesario realizar inversiones en los mismos para obras de acondicionamiento.

En el poblado de Cortés abundan las áreas pantanosas, producto del deficiente drenaje; las áreas exteriores a los diques de protección contra inundación constituyen un ambiente propicio para el desarrollo de los mosquitos y de otros insectos dañinos, por estar la zona cubierta con vegetación de mangle.

1.3.1 Estudio del patrimonio natural costero

El espacio litoral según plantean algunos autores es un lugar de encuentro, de convergencia, de transición, de interfase; en este sentido, también se define Ortega (1992) cuando hace hincapié en el carácter tridimensional del litoral como espacio geográfico que alberga una compleja variedad de procesos de diversa naturaleza: geomorfológicos, hidrológicos, biológicos y de actividades e intereses humanos.

Las áreas costeras y su desarrollo son singulares, porque ocurre en la zona interfacial de la tierra y el mar, estando influenciados fuertemente por los dos. Barragán (1987) plantea que determinadas actividades antropogénicas, como el movimiento extensivo de tierra y el impacto sobre las cuencas hidrográficas, son transformaciones relativamente irreversibles que alteran drásticamente la superficie de interacción entre la tierra y el mar, pero también puede suceder que aún los efectos más perjudiciales sean asimilados por la acción de los procesos naturales en las zonas cercanas a las costas.

Estas fuerzas naturales, tales como los gradientes de salinidad y las mareas, controlan, hasta cierto punto, los aspectos de la zona costera, incluyendo la distribución de los ecosistemas, el modo de su utilización y la magnitud del impacto del desarrollo sobre los recursos costeros.

El litoral es un espacio muy peculiar, con un marcado carácter diferenciador, avaladas, estas aseveraciones desde varios puntos de vista, organizándose para su estudio en tres subsistemas, como se puede apreciar a continuación:

Físico Natural: Es un área que alberga medios de distinta naturaleza, tales como: litosfera, hidrosfera salada y atmósfera; la misma es muy dinámica y compleja, existiendo interacciones y cambios biológicos, geomorfológicos y químicos en determinados escalas temporales. También se destaca por su alta productividad y densidad biológica y es una zona de cría de ciertas especies de valor ecológico y comercial, pues posee importantes unidades ambientales que cumplen una función defensiva de enorme trascendencia ante amenazas naturales como terremotos, inundaciones, erosión.

Económico y Productivo: Es un espacio socialmente muy activo dada la existencia de un clima benigno, fertilidad en los suelo, convergencia de usos y actividades de valor paisajístico, etc.

Jurídico administrativos: Es un espacio de carácter público, convergen las competencias de numerosas administraciones públicas, por tanto existe diversidad de forma para su administración y gestión, de ahí que surgen las disposiciones jurídicas para regular las relaciones entre los subsistemas natural y antrópico. (Barragán, 1997).

Todo lo anterior es posible expresarlo de forma más sintética y precisa en la figura 1.6.

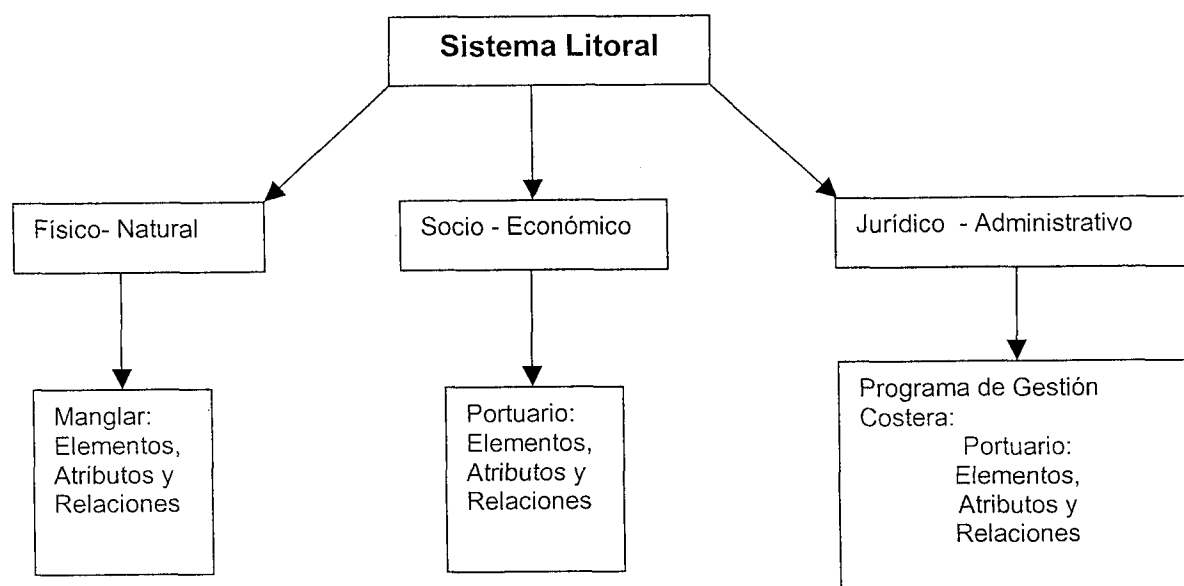


Figura 1.6 Subsistemas que componen el espacio litoral. (Fuente Barragán J.M., 1994)

Dentro de los ecosistemas que conforman el litoral, encontramos el manglar objeto de estudio y que respecto:

Al subsistema **físico natural**, acoge en su interior a muchas especies de peces, retiene los sedimentos y reduce la erosión costera, constituyendo una defensa natural, la cual posee biodiversidad y producción primaria muy elevada. Se debe señalar que es un espacio importante para la avifauna.

Al subsistema **socioeconómico**, se valoran sus abundantes recursos naturales y de sus aguas, suele identificarse como un espacio muy ligado a poblaciones tradicionales, donde a la importante función de la consecución de alimentos básicos se añade aspectos ligados a la cultura o costumbres.

Al subsistema **jurídico y administrativo**, en nuestro país el manglar goza de un nivel de protección especial como espacio natural, incluso puede vincularse a medidas reguladoras y jurídicas con relación al uso de sus recursos naturales, para lo cual se cuenta con la ley de Medio Ambiente, aprobada en julio del año 1997, con un capítulo dedicado por entero a la protección del litoral costero.

1.3.2 Tensores que Influyen en el área de estudio

En este aspecto, se tuvieron en cuenta los fenómenos tanto naturales como antrópicos, que de una forma u otra han originado diferentes grados de estrés, tensión o impacto ambientales en el área de estudio y a los que se les ha denominado, por su origen, **tensores naturales** y **tensores antrópicos**.

1.3.2.1 Tensores naturales

El área estudiada es una región que se encuentra bajo el azote constante de los diferentes fenómenos naturales que afectan al país, principalmente ciclones, ya que gran cantidad de éstos últimos hacen su entrada por la costa Sur, fundamentalmente de la parte occidental. En este sentido, entre otras cuestiones, aquí hacen jugar su papel los manglares, considerados como la barrera protectora de la costa. Si esta barrera natural se encontrara en franca decadencia, la costa queda en condiciones de franca desprotección de este tipo de eventos climáticos.

Entre los fenómenos que más afectan la zona de estudio, se pueden mencionar:

Tormentas.

Las temporadas ciclónicas ocurren en la región del Caribe y en el Golfo de México entre los meses de julio a noviembre. Cuando estas tormentas generan vientos sostenidos de gran intensidad y fuerte oleaje, los manglares son muy susceptibles a sus efectos. Este tipo de bosque, actúa como la primera barrera de choque frente al viento y al oleaje y, partiendo del hecho de lo poco profundo de su sistema radical, es muy propenso a la erosión. Según Franco (1990) se informó que durante el huracán Betsy, el 50 % de una muestra de 62 árboles en un bosque de *A. germinans* había sido derribado. Los vientos de la tormenta fueron de hasta 185 km/h. Los

árboles derribados tenían una edad de 26 años promedio y de entre 10 y 30 cm de diámetro, lo cual no elimina la consideración sus propiedades de regeneración en condiciones más favorables.

Las tormentas y el oleaje provocado por éstas, acarrearán 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. Informes de este tipo fueron expuestos por Borges en (1909), Craighead y Gilbert (1962), y Craighead (1964), citados por Cintrón (1983), por su parte, observaron que las olas generadas por el huracán, David (1979), desarraigaron herbazales submarinos y acumularon el material en las playas, formando en algunos lugares diques de hasta más de 2 metros de alto dentro de los bosques de borde.

Estos diques, obstruyen el flujo y reflujo de las aguas y además entorpecen el intercambio gaseoso entre la raíz y la atmósfera. La restricción del flujo de las aguas causa el aumento de las salinidades provocando la muerte del mangle.

Con una frecuencia mayor que la deseada, esta zona de estudio es azotada frecuentemente por penetraciones del mar, producidas por la acción de fenómenos meteorológicos; entre ellos el paso de ciclones tropicales y la acción de fuertes vientos, principalmente en los meses de marzo y abril, y las combinaciones de éstos sobre la ocurrencia de mareas bajas, siendo estas zonas en las que mayor incidencia tienen las tormentas tropicales.

Ciclones como el Alberto, el Floyd, y más recientemente el Isidore y el Lily, entre otros, han penetrado en el territorio nacional por la zona comprendida entre la ensenada de Cortés y la ensenada de La Coloma, lo que demuestra el peligro potencial que existe para este territorio, destacando que el proceso de erosión natural que provoca el mar como agente exógeno sobre la costa provoca fenómenos de origen geológico y geofísico que se agudizan con el paso del tiempo, y a todo esto se suma, además, que la zona objeto de estudio no cuenta con obras de protección costera, lo que agrava más la situación.

Hipersalinidad.

La hipersalinidad es un factor crónico asociado, de forma general, a los bajos niveles de precipitación, escorrentía y alta evapotranspiración, lo que atenta fundamentalmente a las poblaciones boscosas. Algunos autores, como Lugo et al, (1975), Franco (1997) y Rodríguez Crespo (1999), refieren que las altas salinidades del suelo están asociadas a mayores gastos respiratorios y reducciones en la productividad neta, como resultado hay menos energía para ser adjudicada al desarrollo de los rodales del bosque. Al aumentar la salinidad disminuye el aporte, dando origen a rodales achaparrados. Martínez et al, (1981) refiere que el diámetro, área basal, volumen e índice de complejidad de los rodales disminuye. Cintrón (1981) observó que en áreas con déficit anual de agua los salitres adquieren mayor dominio en la fisiografía y los bosques de cuenca son los más afectados, al depender de la escorrentía para su mantenimiento.

Una degradación continua se observa cuando la evapotranspiración potencial excede a los valores de precipitación. Más adelante, refiere el autor, que la cantidad de precipitación necesaria para compensar las pérdidas por evapotranspiración está en función del régimen térmico local y que en áreas del Caribe oscila entre 1.300 y 1.500 mm/año. (Cintrón et al, 1981) planteando que los manglares de las regiones áridas, están sujetos frecuentemente a oscilaciones climáticas, de modo que años pródigos en lluvia son seguidos por períodos de sequía muy agudos, dando como resultado que las áreas del manglar se extienden y contraen en respuesta a estas situaciones climáticas. Las áreas de manglares muertos son, por tanto, frecuentes en estas regiones en los períodos de sequía. La mitigación, el impacto de la aridez y la desalinización de los suelos de mangle puede ser favorecido con periodos largos de fluctuación de las mareas y tormentas.

Por otra parte, (Bossi, Cintrón et al, 1985), citados por Jiménez et al, 1994, plantean que la hipersalinidad en lugares donde la evapotranspiración potencial es mayor que la lluvia, produce acúmulos de sal en el suelo, donde el relieve es bajo; esta alta concentración está por encima de lo que el manglar puede tolerar, lo cual depara mortandades importantes. Más adelante, en su obra, plantea que los ciclones y huracanes afectan considerablemente al bosque de manglar, traducido su efecto en

pérdida del follaje, desarraigo y erosión; sin embargo, una cuestión muy importante a tener en cuenta es que la regeneración puede ser muy rápida, debido a la gran cantidad de propágulos disponibles, en claro proceso de adaptación al medio natural.

Plagas y Enfermedades

Los efectos ecológicos, sociales y económicos de los insectos y enfermedades son de gran alcance. La actividad de las plagas puede reducir de forma importante los rendimientos de productos madereros.

En el área de estudio se detectó el helecho *Acrostichum*, que es la mayor plaga que impide la regeneración de los manglares, siendo su nombre vulgar *Palmita de Río*, éste actúa invadiendo los claros del bosque, impidiendo totalmente el desarrollo de las plántulas de *Rhizophora*.

Cambios en el nivel del mar y Erosión Costera

Actualmente, debido al caldeoamiento global que experimenta el planeta (sin entrar a considerar la intervención de las actividades humanas en el proceso), la fusión de los casquetes polares y la elevación del nivel del mar, a razón de 3 mm/año, según algunos autores (Emery et al, 1980, según Etkins y Epstein et al, 1982), están causando la sumersión litoral y un incremento de las zonas sometidas a erosión marina. Esta trasgresión del mar ha estado asociada o es la causante directa de un movimiento progresivo de muchas áreas de manglar.

Según observaciones realizadas por (Cintrón et al, 1983), la citada trasgresión marina es causante de que muchas costas de manglar se encuentren en franca erosión, especialmente donde los aportes de sedimentación pueden compensarse por los ritmos de compactación y elevación del nivel del mar. Se plantea que áreas extensas de Card Sound (Florida) muestran un ritmo acelerado de erosión y regresión; semejante actividad también se denuncia por los mismos autores en zonas de Puerto Rico y República Dominicana.

Por tanto, se puede aseverar que las estimaciones sobre magnitud y plazo del cambio climático global y la esperada elevación del mar varían ampliamente a plazo relativamente corto o medio, sin cuestionar la ocurrencia del fenómeno, las modificaciones naturales que afectan a los ecosistemas de manglar, como formaciones importantes del cinturón tropical y en ocasiones del sub-tropical, que serán afectadas positiva o negativamente por cambios ambientales, ya sean inducidos por el calentamiento global o por otros eventos oceanográficos, meteorológicos o geofísicos de magnitud regional o global, que como se mencionó anteriormente afectan de forma muy agresiva las costas de Cuba.

1.3.2.2 Tensores antrópicos que impactan el área de estudio

La acción del hombre en muchos casos ha sido desde muchos puntos de vista negativa hasta hace poco tiempo, en que nuestro país se ha desarrollado una concienciación de su valor ambiental, proyectado por la sustentabilidad de los recursos naturales y su conservación.

Los factores inducidos por el hombre pueden ser muy variados y complejos, ello depende fundamentalmente de los aspectos socioeconómicos que imperen en cada región y tiempo histórico, en particular. En países subdesarrollados, el manglar está sometido a una constante presión antrópica, por los recursos que aporta el mismo, en especial la madera para producción de carbón, estacas, madera para construcción, combustible, etc; por ello, se analizan a continuación algunos aspectos que, de alguna manera, han sido inducidos por el hombre y que repercuten de forma negativa en los ecosistemas costeros.

Tala indiscriminada

En el sector estudiado se utilizan grandes volúmenes de leña de mangle para la producción de sal en hornos de evaporación. Casi el 90 % de la leña usada en el sector es mangle destinado a la producción de sal y hornos de carbón. En este sentido, existen estudios (Franco, 1990) (Milián, 2001) que detallan como los mayores grados de erosión costera ocurren en áreas desprotegidas de mangle rojo o en zonas donde el gradiente de la pendiente es muy pronunciado, evitando el desarrollo exuberante de la vegetación del ecosistema de manglar.

En algunas zonas, los recolectores de ostras cortan las raíces de *Rhizophora*, donde se fija el molusco para facilitar su recolección, dejando al árbol sin sustentación o anclaje y expuesto al colapso.

La deforestación en áreas terrestres e incluso alejadas de la costa genera, no obstante, un impacto ambiental negativo de carácter inducido, pues disminuye el aporte natural de nutrientes hacia los manglares y aumenta la sedimentación.

Canalización y Represamiento

Rodríguez Crespo 1999 y Milián Cabrera 2002 anotan que las áreas de afectaciones con mortalidad de los manglares se localizan en sectores donde ha ocurrido una disminución de la descarga de los ríos al ecosistema, aspecto que puede estar asociado a otros factores tales como: sequía prolongada, cambios en la influencia de las mareas, sedimentación y obstrucción de la red de drenaje natural, etc.

De acuerdo con algún autor (Cintrón et al, 1983), se refirieren los efectos dañinos de la canalización y desviación de flujo de agua dentro del manglar, ya que los manglares son sistemas abiertos que dependen de insumos continuos de nutrientes para mantener los altos niveles de producción y funcionamiento. Un estudio (Lugo, Zucca, 1977) elaboró un modelo matemático de un área de manglar, basado en observaciones llevadas a cabo en Florida, dando el ritmo de acumulación de biomasa y cantidad de la misma acumulada en el estado de equilibrio dinámico, que resultaron ser extraordinariamente sensibles a cambios en la disponibilidad de nutrientes traídos por la escorrentía y cursos de agua. Según los autores citados, las desviaciones de escorrentía y cursos de agua someten al manglar a una tensión y provocan la degradación de rodales y el establecimiento de bosques menos vigorosos y desarrollados.

La construcción de carreteras, áreas urbanas, canales y represas ha alterado las condiciones hidrológicas de los manglares en todos los países. Franco, (1990) apunta factores como obstrucción de canales de drenaje, bajo nivel de escorrentía y

altas concentraciones de sal como percutores del ascenso de la mortalidad en la población vegetal. Este mismo autor, en su trabajo sobre el Diagnóstico Biofísico del ecosistema de manglar, realizado en un sector de observación (Franco,1990) comprobó que independientemente de las obras ejecutadas por el hombre, un gran número de esteros que conforman la red natural de drenaje del manglar con una disminución de la influencia de las mareas en el ecosistema, provoca un aumento del contenido de sales en áreas antiguamente inundadas, lo cual se traduce en la mortalidad de la vegetación en ese lugar, cuestión ratificada en trabajos posteriores (Milián, 2002).

Embalses

La construcción de embalses dentro del manglar también puede causar deterioro y muerte del mismo. Refiere un estudio (Cintrón et al, 1983) que los diques y rebordes no sólo aíslan el manglar de los suministros de nutrientes y el subsidio de las mareas, sino que pueden causar elevaciones en el nivel de las aguas que topen las zonas de intercambio de gases.

Según Rodríguez Crespo (2002), se observó en sectores de mangle afectados que la construcción de embalses aguas arriba y diques para siembra de arroz en tierras agrícolas adyacentes, alteran en cierto grado el régimen hídrico y las condiciones de los suelos de mangle, lo que afectó la regeneración natural, provocando la muerte prematura de las plantas, aspectos antes referidos por (Lugo et al 1981). Aunque este mismo autor explica que los episodios de muerte masiva de los árboles son eventos frecuentes y naturales en los ecosistema de manglar.

Sedimentación

Los manglares están adaptados a ambientes con altos grados de sedimentación, siempre que ésta no impida el intercambio de gases con la atmósfera. La descarga de una sedimentación excesiva puede ser producida por factores naturales y por el hombre. Poll (1976), en este sentido, informa del impacto que produjo la extracción de áreas en un cordón litoral sobre los manglares próximos. La extracción de arena redujo la altura de la duna de 12 a 3 metros, con posterioridad, las arenas residuales fueron transportadas por una tormenta hacia el interior del manglar, donde la

sedimentación alcanzó un metro de espesor, aproximadamente, 260 metros tierra adentro. Informa el autor que todos los árboles murieron donde el espesor de la capa de arena excedía los 30 cm, posteriormente el área fue colonizada posteriormente por pinos australianos (*Casuarina equisetifolia*).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Contaminación por petróleo.

La contaminación por petróleo es altamente dañina para los manglares, debido a que al depositarse en el manglar por la acción de las mareas pueden cubrir los neumatóforos e interrumpir el intercambio de gases, ocasionando la muerte a los árboles.

Lugo et al, (1980), citado por Franco, (1997), ha sugerido los diferentes tipos fisiográficos que tienen diferentes susceptibilidades a la contaminación por petróleo; ellos ponen como ejemplo algunos ribereños que pueden ser menos susceptibles ya que el empuje de agua dulce impide la penetración del aceite al estuario. Los bosques de cuenca serían los más afectados a este tipo de tensor (factor) cuando se origine tierra adentro, pero a la vez serían muy susceptibles si el derrame ocurre en las costas con ocurrencia de mareas vivas, siendo la cuenca severamente impactada por un largo período de tiempo, teniendo en cuenta la debilidad de los flujos de agua y a las bajas tasas de intercambio en esos ambientes.

Los bosques de franjas, compuestos exclusivamente por *Rhizophora*, son los más afectados por los derrames de petróleo, ya que éstos pueden quedar atrapados en el laberinto de sus raíces; sin embargo, el combate de las olas pueden mitigar el efecto al limpiar el borde delantero de la franja, produciéndose solo la defoliación en la parte interior de la misma, donde el lavado se hace más difícil.

Otros tensores inducidos por el hombre

Otros tensores inducidos por el hombre son los debidos a la contaminación por aguas negras, residuos de la industria y construcción de presas aguas arriba, la

agricultura y ganadería, instalación de fincas camaroneras y taninos, afluentes de tratamiento dentro de manglar por las sustancias tóxicas que contienen.

Existe información acerca de como la descarga de aguas negras y tratadas puede contener agentes patógenos y metales pesados que al incorporarse a los tejidos de peces, mariscos y crustáceos resultan ser perjudiciales a la salud pública.

Por último, haciendo referencia a otros tensores inducidos por el hombre como, por ejemplo, los rellenos sanitarios y vertederos, que causan destrucción directa del manglar, provocando cambios irreversible y eliminación de áreas de bosques según su magnitud. En estas áreas pueden lixiviar sustancias tóxicas, especialmente donde se vierten residuos de origen industrial.

1.3.2.3 Relación entre los tensores naturales y antrópicos en el área de estudio

Para la valoración de los diferentes tensores, tanto naturales como antrópicos, sobre los medios biológicos y físicos, así como el orden de intensidad de éstos, se confecciona la matriz inspirada en los criterios de Bellot, J. 1998.

A fin de conjugar los tensores naturales y antrópicos presentes en el sector con los medios biológicos y físicos en busca de su ponderación, se desarrolla esta matriz de impacto, cuyos resultados aparecen en la Tabla 1.9 (fuente: Rodríguez, G., 1999).

Analizando la Matriz los resultados son los siguientes:

Verticalmente:

- Tensores Naturales.
- Sequía.
- Huracanes.
- Ascensos en el Nivel del Mar.
- Erosión Costera.
- Tensores Antrópicos.
- Contaminaciones por petróleo y derivados y aguas servidas.

- Contaminación por materiales no biodegradables.
- Represamientos y Canalizaciones.
- Tala indiscriminada y Mal empleo de suelos agrícolas adyacentes.
- Construcción de carretera.

Horizontalmente:

Biológicos: Más afectados: Flora,

Fauna (íctica y arrecifes),

Hombre.

Físicos: Mas afectados: Paisaje,

Suelo: salinidad,

Hidrología: cuenca.

Leyenda

Impactos Negativos.

Medio.

Moderado.

Bajo.

No hay

Impacto positivo: +



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 1.3 Matriz General de Impacto. (Fuente: Rodríguez y Wainder, 1999).

Medios	Tensores Naturales						Tensores Antrópicos						
	Huracanes.	Sequía	Erosión Costera	Hipersali.	Cambios del Nivel Mar	Represa m. Y Canaliza.	Contam por Petróleo	Contam. por aguas servidas	Contam. por materi.no Biodegrad.	Tala Indiscrim	Const. de carretera S/o.f	Mal empleo de suelo agrícola	
	Flora												
	R. mangle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	
	A. germinans	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	
	L. racemosa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	
	C. erectus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
	Algas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	
	Fauna												
Biológicos	Avifauna	1	2	3	2	4	2	2	3	3	2	1	4
	Mamíferos	1	2	3	2	3	2	1	1	2	3	2	4
	Reptiles	2	2	3	2	3	2	1	1	2	3	2	4
	Esponjas,												
	celenterados,	2	2	3	2	1	2		1	1	2	4	4
	moluscos, etc.												
	Íctica	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	4	4
	Arrecifes c.	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	4	4
	Hombre	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4+	1
	(pobla. costera)												
Físicos	Suelo												
	Salinidad	5	1	2	1	1	1	2	4	3	3	5	1
	PH	2	1	3	2	3	2	2	3	1	3	5	1
	Cont. de M:O	+	1	4	2		2	2	4	2	2	5	1
	Clima	3	1	3	4	2	4	3	4	4	4	5	4
	Hidrología												
	Cuenca	1	1	2	1	2	1	2	2	3	2	4	1
	Escorrentia	+	1	5	1	5	1	5	4	3	4	2	2
	Paisaje	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1

1.4 Importancia del Ecosistema Manglar

Los manglares, cuya superficie estimada es de 17 millones de hectáreas en todo el mundo, son formaciones vegetales ribereñas, características de los litorales resguardados. Las especies, sólo considerando las vegetales, que abundan en los manglares provienen de una diversidad de familias y su dependencia del hábitat litoral varía de una a otra. Hay alrededor de 60 especies de árboles y arbustos que viven exclusivamente en hábitat de manglares.

El manglar, es por lo tanto, un bosque que marca la transición entre el mar y la tierra firme y conforma la zona costera en las regiones tropicales y subtropicales del planeta. Estos bosques perennifolios son valiosos, debido a su importancia ecológica y sus contribuciones socioeconómicas; ellos acumulan turbas o barros y esto mismo permite su adaptación progresiva a las elevaciones del nivel del mar. (Snedaker, 1985)

Los manglares son ecosistemas muy singulares, como fuente de recursos renovables poseen un alto índice en cuanto a la productividad natural y a la amplia gama de beneficio que proporcionan con carácter permanente, traducidos a productos forestales, pesca, ecoturismo, además de sus funciones en la protección de las costas contra la erosión y el mantenimiento del hábitat para gran variedad de especies animales. (Snedaker, 1985).

En todas las zonas costeras en las que aparecen estas formaciones boscosas, concurren problemas ambientales de amplio espectro, como son: emisión de residuales industriales, actividades de recreación y de agricultura, lo cual ocasiona una degradación del medio y, en el peor de los casos, una pérdida de los recursos naturales. Por este motivo, se hace cada vez más necesario elevar el conocimiento de las funciones protectoras y productivas del ecosistema de manglar y de las consecuencias de su deterioro. El estudio de diagnóstico de la zona de estudio ha puesto de manifiesto la necesidad de la conservación y ordenación integral y sostenida de este recurso.

La República de Cuba está formada por dos grandes islas: la Isla de Cuba, con 105.000 km² y la Isla de la Juventud con 2.200 km². Además, existen en el archipiélago cubano más de 4.000 islas, cayos, y cayuelos. El país tiene una superficie total de 110.920 km². Cuba aglutina la mayor área de mangle del Caribe insular, inclusive de todos los países circunvecinos a este mar.

El ecosistema de manglar constituye la formación natural más extensa del país. Clasificado como bosque siempre verde, el recurso manglar ocupa alrededor de 529 700 ha, lo que representa el 26 % de la superficie boscosa y el 4,8 % de la superficie total del país (Melián, 1993 en Hernández Zanuy 2001). Por su extensión, los manglares de Cuba ocupan el séptimo lugar en el mundo, el tercero en América Latina y el primero en la región del Caribe. Ellos se extienden cerca del 70% del perímetro costero del país, destacándose cuatro tramos fundamentales que le sirven de asiento a esta formación, Betancourt, 1972 en Hernández Zanuy 2001):

- Tramo I: De San Antonio a Bahía Honda.
- Tramo II: Península de Hicacos a Nuevitas.
- Tramo III: Cabo Cruz a Casilda.
- Tramo IV: Bahía de Cochinos a Cabo Francés (en este tramo está comprendida el área de estudio desde Punta Fisga a Punta del Coco).

En la actualidad, este recurso forestal es utilizado en aspectos relacionados con la producción directa de carbón vegetal, leña, traviesas para ferrocarril, obtención de cujes para el secado de tabaco, taninos para curtir pieles y la producción indirecta de miel de abejas. Cabe señalar la función del mismo en el ciclo de vida de numerosas especies faunísticas que habitan en el litoral, así como su importante papel en la protección en las costas contra la erosión costera y la intrusión salina a las tierras agrícolas adyacente a los manglares.

En los últimos años, el ecosistema de manglar ha sufrido un deterioro muy acentuado en algunos sectores de la costa sur de la provincia de Pinar del Río y otras áreas del país, dada por la muerte masiva provocada por la intervención de diferentes tensores ecológicos en zonas más o menos extensas y también, la

pérdida del vigor productivo, provocando la disminución en la producción pesquera del litoral y la producción melífera, fundamentalmente.

1.4.1 El manglar, su papel en los ecosistemas costeros

El papel más destacado es la producción de hojarasca y detritos, los cuales son exportados durante el proceso de flujo y reflujo hacia el ambiente marítimo cercano a la costa; las partículas de detrito llegan a ser un recurso nutritivo de alimentos para una gran variedad de animales marinos. También cabe destacar que los materiales orgánicos, resultado de la descomposición dentro del bosque, ingresan al ambiente cercano a la costa, donde se tornan disponibles a una variedad de consumidores filtradores del mar y del estuario. Por lo tanto, debe señalarse como aspecto muy importante, el papel de los manglares en la producción y mantenimiento de la pesca costera. (Snedaker, 1985)

En estas áreas, donde anualmente existe actividad de ciclones o tormentas tropicales, los manglares son reconocidos como amortiguadores contra los oleajes derivados de estos procesos climáticos y las mareas, que de otra forma tendrían un efecto perjudicial para las áreas costeras bajas. Este tipo de bosque, por ende, se caracteriza como estabilizador de los litorales que de otra forma, estarían sujetos a la erosión y destrucción.

Señala Snedaker, 1991, que probablemente, uno de los papeles más importantes del bosque de manglar es la preservación de la calidad del agua. Debido a su habilidad de extraer nutrientes del agua en circulación, la eutrofización (enriquecimiento excesivo de nutrientes) potencial cercana a las costas se reduce al mínimo. También los sedimentos de manglares salinos y anaerobios (carentes de oxígenos) tienen una habilidad limitada para aislar y/o desintoxicar contaminantes comunes.

Rodríguez Crespo, 1999, de la Universidad de Pinar del Río, llegó a las siguientes conclusiones con relación al bosque de manglar en cuanto a sus características en la Ensenada de La Coloma

- Altura Media de 4,53 m.
- Diámetro Medio de 0,0426 m.
- Densidad Media de 45 plantas por 0,1 ha.

El bosque de manglar, en el tramo comprendido entre Punta Fisga y Cayo Coco, después de las comprobaciones de campo de este estudio, tiene aproximadamente las mismas características que las presentadas en La Ensenada de La Coloma; es decir, no hay diferencias significativas, el bosque de mangle sigue siendo achaparrado y de baja productividad, clasificándose como de altura media, con una densidad mayor del 75 %, con un volumen medio de 30,04 m³ por ha, mostrándose una regeneración incipiente de *Avicenia germinans*; sin embargo, no logra establecerse en su totalidad y la mortalidad se comporta, como promedio, en alrededor de 10 – 12 árboles por parcela, no sucediendo lo mismo con la especie *Rhizophora mangle*, la cual se encuentra en un estado crítico de conservación y su pérdida ha sido inminente.

Los factores que más han incidido para que dichos manglares conserven estas características son:

- La hipersalinidad, como un factor crónico asociado a los desvíos de escorrentía, a los represamientos que impiden el intercambio de agua fresca. La salinidad es alta en la mayoría de los casos incluso en las parcelas de mayor mortalidad.
- Los resultados del PH del suelo no parecen ser una limitante, puesto que se comporta lógico en suelos de manglar 5,9; o sea, ligeramente ácido.
- La contaminación se considera de valor medio, por la presencia abundante de materiales no biodegradables dentro del bosque y sobre todo, acumulación de éstos en las cabezas de los esteros que se han formado en la costa por la ausencia de *Rhizophora mangle*. Esta situación se agrava por los vertidos de las comunidades al mar, como los residuos industriales del combinado pesquero de La Coloma (a pesar de la pequeña laguna de oxidación y del tratamiento de las aguas que al final se van a unir con las aguas servidas de las comunidades costeras) e industria pesquera de Cortés, donde el vertido es mayor que la capacidad de asimilación que pueda tener el mangle como respuesta a estos impactos generados por la población como por la industria pesquera

- La obstrucción de los drenajes naturales o artificiales: la sequía prolongada y la acumulación de desechos, no favorece que las mareas bañen la cuenca del manglar, es por ello que los salitrales emerjan después de la mortalidad masiva en parches, notándose un dominio en la fisiografía de la zona cada vez mayor.
- La barrera natural de *Rhizophora mangle* y su desaparición por la tala en el sector permite que las mareas provocadas por las condiciones meteorológicas puedan sobrepasar la topografía media e inundar con planos de agua prolongados los rodales, matando por anoxia a los árboles. De aquí se deduce que son dos las causas de la formación de salitrales: la ocurrencia de la mortalidad masiva por anoxia y la hipersalinidad provocada por causas diferentes, pero con el mismo efecto.
- Las áreas costeras desprovistas de *Rhizophora mangle* que forma la barrera natural de protección contra los eventos climáticos, no solo favorece la erosión, sino que pueden acarrear a las zonas interiores altas cargas de sedimentos, obstruyendo la red de drenaje y limitando la influencia de las mareas a todo el ecosistema.

De todo lo expuesto, se demuestra que existe un deterioro generalizado en el área de estudio, fundamentalmente, en los tramos Las Canas – Itabo, Las Canas – La Coloma, en la desembocadura del río Cuayaguaje, en la albufera de Cortés, en ésta última, producto del mal drenaje de su suelo, mal perfilamiento de los canales pluviales y otras cuestiones que se derivan de las condiciones de vida de la comunidad y que repercuten sobre las abundantes áreas pantanosas que posee, efecto que se compensa, hasta cierto punto, por el grado de respuesta de la formación boscosa, con un comportamiento de carácter dinámico en su regeneración.

1.5 Potencialidades socioeconómicas. Las actividades económicas en el espacio litoral

Los aspectos que ahora se tratarán ponen de manifiesto la polifuncionalidad económica que es inherente al desarrollo del espacio litoral donde refiere especial atención el análisis individualizado de cada actividad.

a) Las actividades extractivas o “primarias”

Las características propias del espacio del litoral permiten ciertas actividades en el aprovechamiento de algunos recursos naturales. Así, se puede establecer una doble división entre aquellas que están ligadas a los recursos biológicos como: pesca, recolección de algas marinas y de caracol, por un lado, y las que dependen de la naturaleza biológica e hidrológica de la zona costera (petróleo, gas, arena, energía).

b) Actividades económicas “básicas”

Se entiende por actividad económica básica, aquélla que se identifica con el sector primario pero que no es específicamente extractivo y por tanto, exige una serie de tareas previas a la obtención del producto final: acuicultura (piscicultura, producción de sal, etc), agricultura y silvicultura.

c) Actividades industriales o transformadoras

La cercanía de los mercados de consumo y la confluencia de los modos de transporte terrestre y marítimos contribuyen al desarrollo industrial de la zona costera. La actividad transformadora suele ir asociada, además, al uso del propio espacio del litoral (naval) o a ciertos recursos naturales de gran peso en relación a su volumen (carbón, hierro, bauxita, petróleo, fosfato, etc).

d) La actividad comercial ligada al transporte marítimo

Este aspecto engloba aquellas actividades vinculadas al transporte marítimo comercial (pasajeros y mercancías). También deben contemplarse sus servicios auxiliares (consignatarios, transitorios etc). De esta forma, cobran importancia todos los aspectos de carácter logístico (rutas de navegación, avituallamiento).

e) Actividades asociadas al ocio y al turismo

El conjunto de actividades que se incluyen en este subsector es tan dispar como sus impactos ambientales, territoriales, sociales y económicos. Aunque nos centraremos en el turismo, no debe olvidarse que el ocio y recreo de fin de semana, por ejemplo, tiene un alcance cada vez mayor para las áreas rurales y litorales periurbanas (construcción de segundas residencia, concentración de bosque o playa etc). El

auge experimentado por el turismo en la zona costera es tal y de tanta trascendencia que merece especial atención, (Barragán, 1997).

En el área objeto de estudio las potencialidades socioeconómicas están concentradas fundamentalmente en los poblados de La Coloma y de Las Canas, las playas Boca de Galafre y Bailén, el poblado de Cortés. Esta situación ha generado conflictos, debido a que el poder de la economía que se desarrolla en la misma no repercute en el nivel y calidad de vida de la sociedad (pobladores lugareños), los cuales presentan problemas sociales asociados a: deterioro de las viviendas, insalubridad, poco espacio recreativo, desintegración del paisaje natural y la estabilidad y equilibrio entre los aspectos físicos naturales, contaminación de la playa, pérdida del carácter público del poblado playa Las Canas, pocas capacidades de lagunas de oxidación de contaminantes, necesidad de acceso a leña para combustible doméstico, sobreexplotación de renglones pesqueros, contaminación por vertidos no controlados, erosión costera e intrusión salina.

De lo anterior, se extraen consecuencias para el futuro, porque es cierto que los escenarios litorales han soportado un desarrollo socioeconómico que les ha afectado y los implicará todavía más, deteriorando sus ecosistemas más importantes. Si no se pone coto a tiempo, habrá amenaza de degradación por la actividad urbanística en las playas del sector y depresión económica futura, agravamiento del problema espacial, éxodo de la población del lugar, una mayor erosión del litoral costero por las talas indiscriminadas de *Rhizophora mangle*, formaciones de salitrales, caída de la productividad natural y melífera y, muy importante, la salinización del manto acuífero, fundamentalmente el de La Coloma, vital para la vida de los poblados de la zona que repercutirá en la ciudad de Pinar del Río.

Tabla 1.10 Actividades económicas del área de estudio. (Fuente la autora)

Tipo de Actividad	Actividad	Valoración cualitativa y su peso en el desarrollo
Primarios.	Pesca.	Xxx
	Agricultura	X
Básicos.	Silvicultura y explotación forestal.	X
Industrial / comercial y servicios	Transformación de productos pesqueros	Xxx
	Reparación de embarcaciones	Xxx
	Almacenaje y otros servicios portuarios.	Xxx
	Servicios locales.	Xx
	Gastronomía.	X
Turismo de Playa	Alojamiento y restaurantes	Xx
Contribución local	A la economía	xxx
		xxx alto
		xx medio
		x bajo.

1.6 Impacto ambiental en la zona de estudio

Cuando se habla de impacto ambiental se está hablando de la alteración que la ejecución de un determinado proyecto introduce en el medio, expresada por la diferencia entre la evolución de éste, con y sin proyecto, así como en términos de salud.

Las causas fundamentales que generan un impacto ambiental entre otros son:

1. **Contaminación:** Introducción de elementos, energía o subproductos extraños al medio, improcesables o en cantidades que superan su capacidad de asimilación.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Se enumeran entre ellos:

- Productos intrínsecamente nocivos.
- Productos reciclables pero en cantidades superior a la asimilada por el ecosistema.
- Contaminación visual.
- Contaminación acústica.
- Introducir especies alóctonas que alteran las comunidades locales.

2. **Sobreexplotación:** Aquí se trata del abuso de recursos naturales o de los ecosistemas como tales, en el caso de los recursos naturales, se trata de la extracción de estos recursos naturales en mayor cantidad a las tasas de renovación natural.

- Pastoreo por excesiva carga de ganado y por técnicas inadecuadas
- De acuíferos, subterráneos.
- De caudales superficiales.
- Extracción abusiva de madera, leña sin un plan de regulación.
- Recolección indiscriminada de especies florísticas.
- Pesca y caza de especies protegidas, con técnicas no autorizadas y en época de veda.
- Agricultura esquilmante con prácticas poco sostenibles o cultivos agresivos.
- Extracción de materiales para construcción.

3. Cambios en los usos del suelo:

- Por ocupación del espacio con actividades como urbanización, industria, repoblación, transformación en regadío, equipamiento recreativo.
- Por inducción de actividades:
 - . Atracción de actividad a una zona, en este caso por carretera.
 - . Revalorización del suelo rústico por la influencia de un área o actividad.
 - . Depresión de una actividad, en esta caso en áreas rurales la despoblación.
 - . Presión sobre el entorno por una actividad.
 - . aumento de accesibilidad o espacios enclavados.

4. **Subexplotación:** de recursos naturales y/o ecosistemas, desaparición de una actividad tradicional.

- Salinas.
- Aterrazamiento de laderas.
- Desaparecer la caza selectiva.
- Abandono de cultivos por ejemplo: dehesas, paisajes artificiales. (Torres, F. 1998).

En el presente caso se estudia el deterioro del Ecosistema costero Sur de la provincia de Pinar del Río, considerando fundamentalmente los tres factores siguientes:

- Contaminación del Acuífero Costero Sur.
- Transformación eólica de las sales.
- Regulaciones y derivaciones realizadas en la cuenca de la vertiente Sur.

En sentido general, además de las afectaciones señaladas en el epígrafe 1.3, se suman otras afectaciones que son de orden tanto social como económico que hacen que la zona de estudio se encuentre impactada en alto grado, como son las que se mencionan a continuación:

- Se detectó la desaparición de 39 especies de la flora zonal.
- Gran pérdida de capacidad agroproductiva de los suelos, existiendo en el territorio un 3% del área con incapacidad absoluta para la producción.
- La zona de pesca de la langosta se ha retirado a 20 km de su lugar de origen.
- Parte de la Llanura Costera Sur sufre un serio proceso de desertificación por desaparición de la cubierta protectora.
- Reducción de la fauna migratoria y su tiempo de estancia en el lugar.
- Todas las afectaciones antes señaladas, por supuesto tienen como un denominador común la contaminación del acuífero costero Sur que en este caso constituye el eslabón más débil de la cadena.

1.7 Desarrollo Sostenible

La dificultad para evaluar los costos ecológicos y sociales del crecimiento económico, así como para incorporar al cálculo económico los criterios cualitativos y diversos procesos de orden ecológico, tecnológico, cultural y social que caracterizan a los valores y potenciales productivos de una racionalidad ambiental, ha implicado que la planificación ambiental del desarrollo se haya restringido a la perspectiva de una economía política de la contaminación. (Klemm, 1981)

La política ambiental en nuestro país se ha orientado sobre todo hacia los objetivos de preservar ciertos espacios ecológicos (reservas de la biosfera y áreas protegidas) y de controlar los índices de degeneración, así como las formas de disposición de desperdicios de la producción y el consumo.

En los países subdesarrollados y dependientes, estos problemas se han agudizado por la fragilidad de sus ecosistemas y por lo poco eficaz que han demostrado ser sus gobiernos para controlar sus efectos. Sin embargo, el concepto de ambiente, fundamentalmente en el área latinoamericana, ha rebasado la visión conservacionista de los problemas derivados de la contaminación y destrucción de sus recursos, condicionado por la dependencia que sufren los países pobres, agravada por la deuda externa donde el ritmo de extracción de los recursos obstaculiza la ejecución de las acciones dirigidas a una gestión integral de los mismos para un desarrollo autodeterminado y sustentable.

La solución del uso irracional del patrimonio de recursos y la degradación ambiental que genera la incorporación de patrones tecnológicos y prácticos productivos inapropiados, provenientes de la sujeción de los "países del Sur" al orden económico internacional, es de carácter eminentemente político. Así, ha permanecido aletargado un potencial de pensamiento teórico y una praxis social capaz de generar una nueva racionalidad productiva para el desarrollo sustentable. (Left, 1998).

En la evolución del concepto de sostenibilidad, la Comisión Brundtland reconoció claramente la necesidad de un enfoque amplio del mismo. Esta comisión declaró que *"el desarrollo sostenible es un proceso de cambio en el que la explotación de los*

recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del cambio tecnológico e institucional están todos en armonía , aumentando el potencial actual y futuro para atender las aspiraciones y necesidades humanas". (FAO, 1994)

En el caso de la sostenibilidad de los ecosistemas marinos plantea la FAO, 1999:

"El concepto de desarrollo sustentable implica que el uso presente del ambiente marino y sus recursos no debe perjudicar su uso y disfrute para las futuras generaciones. Las prácticas pasadas que han negado este principio son la causa fundamental de muchos de los actuales problemas ambientales".

"El desarrollo implica inevitablemente cambios ambientales. El reto para el manejo de la zona costera y marina es el de poner en balance las necesidades del desarrollo en el corto plazo, con la sustentabilidad a largo plazo de los ecosistemas, hábitats y recursos, de forma tal que el rango de alternativas y oportunidades disponibles para las futuras generaciones no se vea disminuido por las consecuencias de las decisiones de desarrollo".

"El manejo y la planificación comprensiva de las áreas marinas son esenciales para mantener en el largo plazo la integridad ecológica, la productividad y el beneficio económico de las regiones costeras".

"El análisis y el conocimiento científico son indispensables para evaluar la efectividad de las acciones de manejo con las cuales se busca proteger el océano. De acuerdo con esto, una estrategia comprensiva de protección debe incorporar principios científicos; sin embargo, dado que las decisiones frecuentemente involucran consideraciones adicionales, resulta esencial que se logre una interacción cercana entre los científicos y los tomadores de decisiones".

Para los países en desarrollo el reto de alcanzar la sostenibilidad requiere de grandes transformaciones políticas, económicas y sociales. Para Cuba, estas transformaciones son un hecho materializado en la práctica. La estrategia cubana

para el desarrollo sostenible es en esencia una estrategia de continuidad, la idea de la sostenibilidad es intrínseca a los principios socialistas que sustenta nuestro modelo revolucionario. El estado cubano ha declarado la soberanía nacional sobre los recursos naturales y ha promovido un activo proceso de recuperación y protección de éstos, que tiene por centro al Hombre y la satisfacción integral de sus necesidades materiales, culturales y estéticas, para ir incorporando a toda la sociedad a la atención de los problemas ambientales.

Sach, 1974, planteó que en la planificación o desarrollo de los recursos costeros, es esencial considerar los efectos directos e indirectos de cualquier actividad sobre los sistemas adyacentes. Una planificación integrada para el desarrollo y la utilización de los recursos, incluye los conceptos de uso sostenido y el de la obtención del mayor rendimiento derivado de los mejores usos múltiples del recurso dentro de un marco de trabajo que planee para el uso a largo plazo, para uso multisectorial. De esta forma, se asegura que el desarrollo de los recursos y los esquemas de utilización alcancen las metas que se han proyectado con respecto a él y, a la vez, se minimicen efectos secundarios sobre sistemas adyacentes, lo cual causaría problemas económicos, sociales y políticos.

Es por ello que, cuando se vaya a explotar un recurso costero de cualquier índole, como el entorno asociado al bosque de mangle, sea necesario hacer un estudio de su durabilidad a largo plazo, ya que con los factores naturales que influyen y los aportados por el hombre (antrópicos) puede llegar a agotarse el recurso y causar daños irremediables.

La difícil situación económica por la que atraviesa el país en los últimos años ha gravitado, sin duda, sobre la explotación de los recursos naturales y se han comenzado a emprender acciones sobre su conservación; sin embargo, la capacidad para aprender y extraer experiencia de las dificultades es también consustancial al proceso, la idea de la sostenibilidad se ha reforzado, ya que se ha adquirido mayor conciencia y nuevas habilidades para emplear de modo racional los recursos con que se cuenta.

Desde el triunfo del Gobierno Revolucionario en 1959, la protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales, como patrimonio de toda la sociedad, ha sido objetivo estratégico nacional y, en medio de la difícil situación económica actual, los esfuerzos por alcanzar la recuperación económica y la protección ambiental con enfoque integral, constituye un importante desafío para los cubanos, unidos a todo estos significativos logros socioeconómicos alcanzados en los últimos cuarenta años, sobre todo las transformaciones sociales llevadas a cabo en este periodo, revela una importante contribución a la protección del entorno, especialmente si se tiene en cuenta que Cuba ha logrado erradicar la pobreza crítica, uno de los principales obstáculos para un desarrollo sostenible.

El tramo costero objeto de estudio abarca ecosistemas que proporcionaron importantes servicios ecológicos y determinadas funciones, que de no ser reguladas, conllevarían al deterioro de las mismas; es por ello que se hace necesario tener un control de las mismas, establecido en el Ante-Proyecto de Decreto Ley en la zona costera de Cuba, expresándose en el Capítulo I que se garantice la protección y el uso sostenible de sus componentes y características naturales; se designa al Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente como organismo de la administración central del estado encargado de establecer la política ambiental y la gestión ambiental necesaria para lograr los objetivos antes mencionados, también se establecen las competencias administrativas que le competen a cada organismo de la administración central del estado, así como las relaciones de cooperación entre ellos, y por último, se define la zona costera y su zona de protección, estableciendo su extensión y límite.

Las zonas costeras, como ya se ha apuntado, contienen importantes recursos naturales y económicos que en muchas regiones del mundo no se utilizan o no son utilizados de tal forma que los beneficios económicos sean optimizados al máximo, es por ello que en la actualidad muchos países han estado priorizando la protección de su ambiente costero, para lograr así un mejor uso y una sustentabilidad a largo plazo de sus recursos naturales.

Algunas de las cuestiones por la que se hace necesario preservar los ecosistemas costeros son las que se relacionan a continuación:

- Descarga y recarga de aguas subterránea (por ejemplo, aprovisionamiento de agua para acuíferos y reservas).
- Control de erosión y estabilización costera (Por ejemplo, retención de sedimentos y procesos de formación de suelos).
- Control biológico (regulación trófodinámica de las poblaciones) regulación de perturbaciones (por ejemplo, protección contra tormentas, control de flujo y reflujos de agua).
- Mantenimiento de la calidad de agua (por ejemplo, retención, reciclaje interno, transformación y adquisición de nutrientes).
- Estabilización microclimática.
- Amortiguamiento de los contaminantes de los ecosistemas vecinos, Reclutamiento biológico.
- Hábitat de una alta diversidad de especies de flora y fauna, regulación climática a escala global y a escala local (temperatura, precipitación, etc.).
- Actividades recreativas (por ejemplo, ecoturismo, pesca deportiva, natación, buceo, etc.).
- Uso no comercial (por ejemplo, valores estéticos investigaciones educativas).
- Fuente única de materiales y productos biológicos (por ejemplo, banco de germoplasma).
- Protección de la costa contra la erosión (por ejemplo, amortiguamiento de la energía de las olas). Según A. Bustio, 2001 (sin editar).

A continuación se plantea en la tabla 1.11 una valoración cualitativa de los recursos naturales costeros de la zona de estudio donde se tuvo en cuenta el recurso a valorar, el tipo de recurso, importancia del mismo para el desarrollo sostenible de la zona, así como el estado de conservación en que se encuentra.

Tabla 1.11 Valoración cualitativa de los recursos Naturales Costeros de la zona de estudio.
(Fuente la autora)

Recursos	Tipo de recursos	Importancia para desarrollo sostenible	Estado de conservación.
Hidrológicos	Aguas costeras.	Alta.	Aceptable.
	Aguas de escorrentía.	Alta.	Deficiente.
	Aguas subterráneas.	Alta.	Deficiente.
Geológicos	Arrecifes de coral.	Muy alta.	-
	Playas.	Muy alta.	Deficiente.
	Estuarios.	Muy alta.	Deficiente.
	Suelos agrícolas.	Muy alta.	Aceptable.
	Espacio Litoral.	Muy alta.	Deficiente.
	Cauces y riberas.	Alta.	Deficiente.
Biológicos	Recursos pesqueros.		
	Langosta.	Muy alta.	Aceptable
	Bonito	Muy alta.	Deficiente.
	Praderas submarinas.	Muy alta.	Deficiente.
	Ornitología.	Media.	Aceptable.
	Árboles.	Alta.	Deficiente.
Manglares.	Muy alta.	Deficiente	
Patrimonio cultural.	Conjuntos urbanos.	Alta.	Aceptable/Deficiente.
	Gastronomía.	Alta.	Deficiente.

Conclusiones del capítulo

Después de analizar la problemática medioambiental en las diferentes esferas del área de estudio, resulta evidente el reto que supone el estudio del ecosistema de manglar y la necesidad de recurrir a técnicas eficaces. No obstante, es necesario recalcar en relación con el tema los aspectos siguientes:

- Los materiales existentes, descritos con anterioridad, permitieron realizar un estudio preliminar para la caracterización de la zona y contar con los datos necesarios para llevar a cabo los trabajos posteriores.
- Los aspectos estudiados, así como los estudios realizados *in situ*, permitieron hacer un diagnóstico exhaustivo de la zona de estudio, arrojando que se observan diferentes problemas relacionados con el estado de sus recursos naturales y las afectaciones al medioambiente de la misma.
- A partir de los materiales tomados como fuentes de datos preliminares (mapas, fotografías, imágenes de satélite, entre otros) y especificados los problemas fundamentales en el territorio, se acometieron los trabajos relacionados con las aplicaciones de las tecnologías avanzadas ya descritas al inicio, dirigidos a elevar el conocimiento sobre el entorno geográfico, profundizar en los aspectos temáticos que son planteados en el objetivo de la tesis y establecer las metodologías de empleo de las mismas, con el fin de plantear las propuestas de manejo que contribuyan al conocimiento y estudio del ecosistema manglar, que como se ha querido destacar, resulta extraordinariamente complejo por la confluencia de elementos naturales y antrópicos.

CAPÍTULO II: Aplicación de las tecnologías avanzadas (Geomática)

2.1 Tecnologías de captura de información georreferenciada

Las características físico-geográficas de nuestro país lo sitúan como una de las pequeñas islas del Caribe que sufren los efectos de los denominados Cambios Globales. Es conocido que la necesidad imperiosa de desarrollar el país, ha incentivado la explotación económica de las regiones costeras y de las cayerías en zonas de la plataforma marina insular con el fin de aprovechar sus riquezas naturales en interés del turismo, la pesca, la extracción de petróleo, entre otras actividades de interés económico.

La construcción de pedraplenes en diversos sectores del archipiélago cubano ha provocado algunos cambios en las características físicas y químicas de las aguas marinas interiores que pueden influir en la subsistencia de la biodiversidad, aunque en la región de estudio que nos ocupa no se ha construido ninguno.

Todo lo que se ha señalado indica que es imprescindible elevar en los próximos años la eficacia en el estudio de todos los geoecosistemas costeros y marinos del país, así como de las aguas oceánicas aledañas, perfeccionando los métodos de adquisición de la geoinformación, de forma tal que sea un proceso ininterrumpido, rápido, fiable, económico y con la suficiente exactitud, de ahí que en el mundo científico surge un nuevo concepto que reviste mucha importancia para este tipo de estudio, el concepto de **Geomática**.

2.1.1 Argumentación del uso de la Geomática como herramienta para los estudios realizados en la Tesis

Geomática es un término empleado hace pocos años para definir la actividad científico-técnica en la que se emplea de forma combinada y en una estrecha interconexión un grupo de tecnologías y métodos de avanzada, como la Percepción Remota, la Fotogrametría Digital, los Sistemas de Posicionamiento Global, los Sistemas de Información Geográfica, conformando una línea de trabajo que, en interrelación con la modelación cartográfica y la cartografía automatizada, persiguen

el objetivo de elevar la eficiencia en la captura, almacenamiento, tratamiento y presentación de información georreferida sobre los territorios con fines temáticos diversos en interés de las geociencias y la cartografía. Algunos la denominan *Geoproceso Integrado*. (Alvarez Portal, 2000)

Entre las tecnologías avanzadas empleadas en la captura de información georreferenciada o georreferida para su uso en diversas actividades, incluyendo la alimentación de las bases de datos de los Sistemas de Información Geográfica, se encuentra la **Teledetección o Percepción Remota**, la cual se define como “... el campo de las Ciencia y la Técnica que desarrolla y aplica los métodos, procedimiento y tecnologías de captura de información georreferenciada sobre la ubicación espacial, características de la configuración y datos acerca de las propiedades físicas de superficies (objetos) y fenómenos, así como de su entorno, desde una distancia dada y sin el contacto físico con ellos, mediante equipos e instrumentos denominados sensores remotos. En general, esto se logra analizando alguna forma de imagen, que es procesada e interpretada mediante un tratamiento computacional complejo, combinado con un estudio visual – instrumental, para producir datos georreferenciados y mapas que pueden tener aplicación en diferentes ramas científicas y en otras esferas del conocimiento y la actividad humana” (Alvarez Portal, 2000).

El desarrollo a escala mundial alcanzado por la teledetección y la sinergia con otras técnicas, como los Sistemas de Posicionamiento por Satélite, la Fotogrametría Digital e incluso los Sistemas de Información Geográfica, ha permitido actualmente contar con estas formidables herramientas en el proceso de adquisición, almacenamiento y análisis de datos sobre extensos territorios de forma muy eficiente, rápida y exacta.

La hipótesis que se plantea en este sentido, es la siguiente:

"La utilización de la Percepción Remota, en su interconexión con los Sistemas de Información Geográfica, los Sistemas de Posicionamiento Global y otras tecnologías de avanzada, permite obtener de forma rápida, exacta y con un costo relativamente

bajo una base de datos georreferenciada muy heterogénea, manejada digitalmente para su análisis, almacenamiento y presentación, que permite obtener resultados que ayudarán a la toma de decisiones sobre el ordenamiento territorial y el manejo de los recursos naturales de la zona seleccionada, siendo, por lo tanto, técnicas rentables. Mediante las imágenes satelitales y aéreas idóneas y su proceso adecuado, los estudios de zonas costeras se pueden llevar a cabo para la determinación de profundidades, delimitación de zonas de playas, estudio de los arrecifes coralinos, mantos de algas y zonas de manglares, así como de otros elementos cuyas dimensiones permitan que sean captados por los sensores remotos seleccionados, de acuerdo a su resolución espacial y a su capacidad de penetración en el agua. (Alvarez P.R, 2000a).

2.1.2 Síntesis del desarrollo de las tecnologías y métodos de captura en interés de la Cartografía

Una de las etapas fundamentales de cada proyecto científico consiste en la captura de bases de datos y el tratamiento de la información geográfica con fines cartográficos. Esta actividad ha evolucionado sorprendentemente en los últimos cuarenta años (Piña, B.R., 1994; Alvarez P. R.,1995, D.R.F. Taylor D.R.F, 1991). La historia del desarrollo de la Ciencia y la Tecnología ayuda a la comprensión por parte de los directivos, gestores e investigadores del estado en que se encuentra una esfera dada del conocimiento humano y aporta criterios para definir una política adecuada de asimilación de los adelantos científicos.

Está claro que los estudios geográficos están indisolublemente vinculados con la Cartografía, pues no se puede hablar de datos geográficos y de su representación cartográfica, sin pensar en su localización espacial. Desde que el Hombre realizó su primera descripción sobre el medio geográfico en el que se desarrollaban sus actividades vitales y cada momento de su desplazamiento por los territorios que trataba de asimilar, persistió la necesidad de situar su posición, de ubicarse espacialmente. Aquí se pretende dar una panorámica general de la evolución de las tecnologías y métodos empleados en la adquisición y el proceso de datos sobre el espacio geográfico en interés de la Cartografía.

A continuación se describen las diferentes etapas del desarrollo de la cartografía en Cuba a partir de los años cincuenta hasta la etapa actual, según Alvarez Portal; R. (2000a)

➤ **Hasta la primera mitad de los años cincuenta**

Hasta la primera mitad de los años cuarenta, la captura de datos sobre el territorio se realizaba puntualmente *in situ*, haciendo levantamientos con plancheta, brújulas, hilos invar, cintas, reglas y otros instrumentos topográficos clásicos. La confección de los mapas mediante dichos métodos, obligaba a los geógrafos – cartógrafos a seleccionar y planificar *a priori* la toma de información, representándose el territorio como un conjunto de puntos georreferenciados cuyos parámetros había que determinar secuencialmente. Es fácil imaginarse cuáles fueron las grandes dificultades confrontadas por los ejecutantes de estos levantamientos para poder cartografiar extensos territorios con instrumentos como los mencionados.

El proceso tecnológico general de confección de mapas hasta finales de la década de los años cuarenta, se muestra en la figura 2.1. En el esquema no se contempla la obtención de datos mediante la fotogrametría, debido a que los métodos fotogramétricos de confección de mapas no estaban generalizados en todos los países, asimilándose éstos prácticamente en los primeros años de la década del cincuenta. En el caso de Cuba, se realizaron levantamientos aerofotográficos de todo el país, a una escala aproximada de **1: 60.000**, a mediados de la década de los años cincuenta. Con las fotografías aéreas en blanco y negro obtenidas del vuelo norteamericano del 1956, se realizó la restitución fotogramétrica para la confección de los mapas a escala **1: 50.000** y **1: 100.000** de todo el territorio nacional.

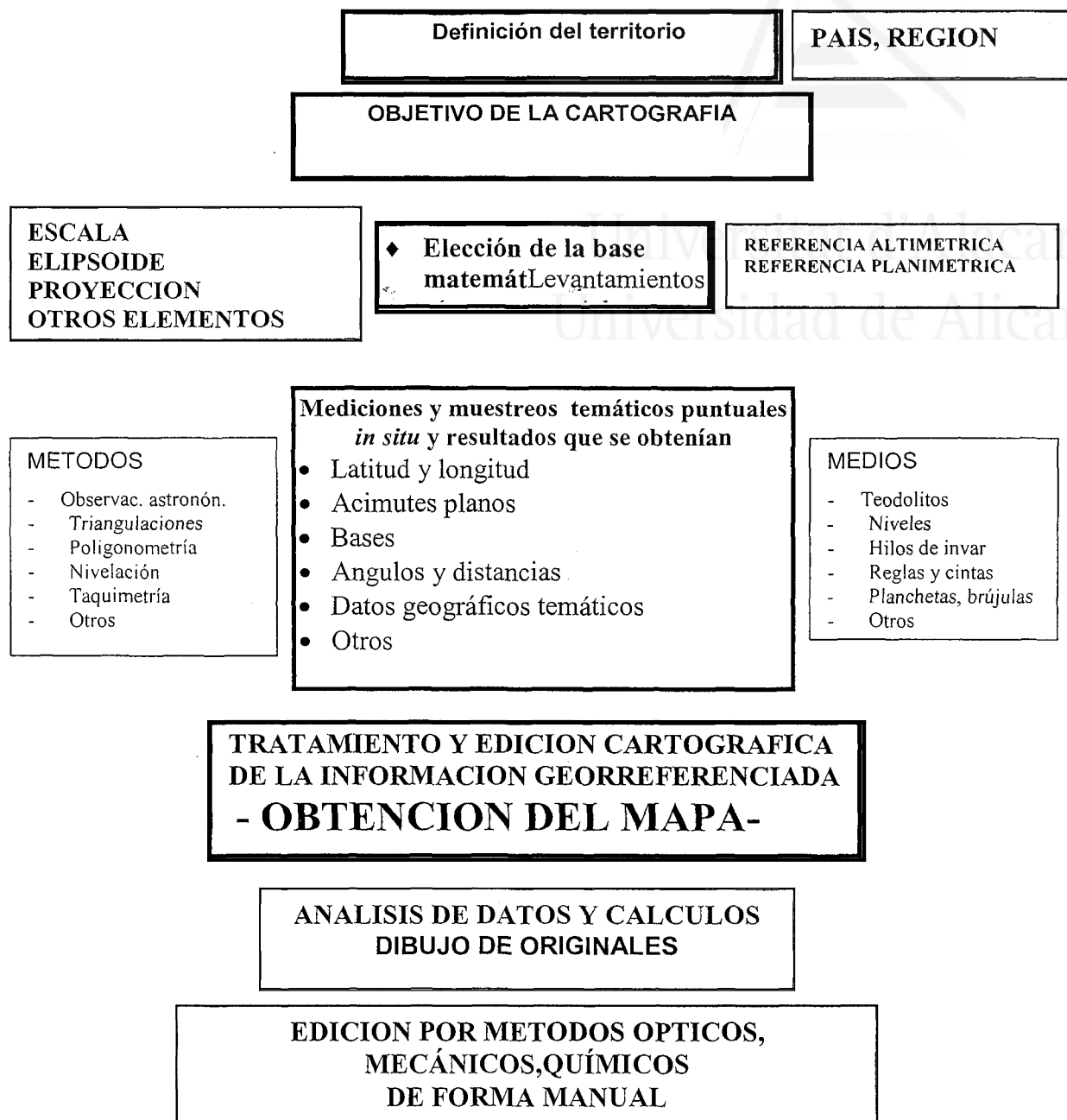


Figura 2.1: Esquema tecnológico general de confección de mapas hasta los años de la década del 50. (Fuente: Proyecto GEF/ PNUD, 2000a)

➤ **Hasta los años ochenta**

Hasta la década de los años ochenta, la captura de información georreferida de los territorios con fines cartográficos se caracteriza por el desarrollo y asimilación de nuevas tecnologías y métodos que modificaron substancialmente el proceso de confección de mapas, incluyendo la modelación y la composición cartográficas.

Entre los avances más notables se destacan:

- La aparición de la distancimetría electrónica.

- El perfeccionamiento de la técnica y de los materiales aerofotográficos.
- El desarrollo de los métodos e instrumentos fotogramétricos.
- Los avances alcanzados en la cosmonáutica y la percepción remota espacial, así como en sus aplicaciones.
 - El desarrollo del tratamiento automatizado (informático) de los datos cartográficos, incluyendo los **SIG**.
 - La posibilidad de explotar los Sistemas de Posicionamiento Global (**GPS**) con fines civiles.

Los avances teóricos, tecnológicos y metodológicos de la aerofotografía y de la fotogrametría permitió que ya en la década de los años cincuenta todos los países desarrollados comenzarán a realizar vuelos fotogramétricos civiles para la cartografía a grandes escalas. Como ya se mencionó, en algunos países subdesarrollados, entre ellos Cuba, se realizaron los levantamientos aerofotográficos de todo el territorio nacional con fines topográficos.

En la figura 2.2 se da un esquema general que describe la situación de la confección de los mapas hasta aproximadamente la década de los años ochenta.

El desarrollo de la distancimetría electrónica provoca variaciones importantes en la tarea de obtener datos *in situ* (mediciones de ángulos y distancias). Los distanciómetros, predecesores de los geodímetros y telurómetros, originan una verdadera revolución en la topografía, permitiendo medir de manera cómoda, rápida y precisa lo mismo ángulos que distancias.

Los avances tecnológicos de la astronáutica y de la puesta en órbita de satélites artificiales de la Tierra (**SAT**) con fines civiles en las décadas de los años sesenta y setenta, hace cambiar substancialmente los métodos geodésicos y la fotogrametría y las posibilidades de captura de información a nivel territorial y global.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

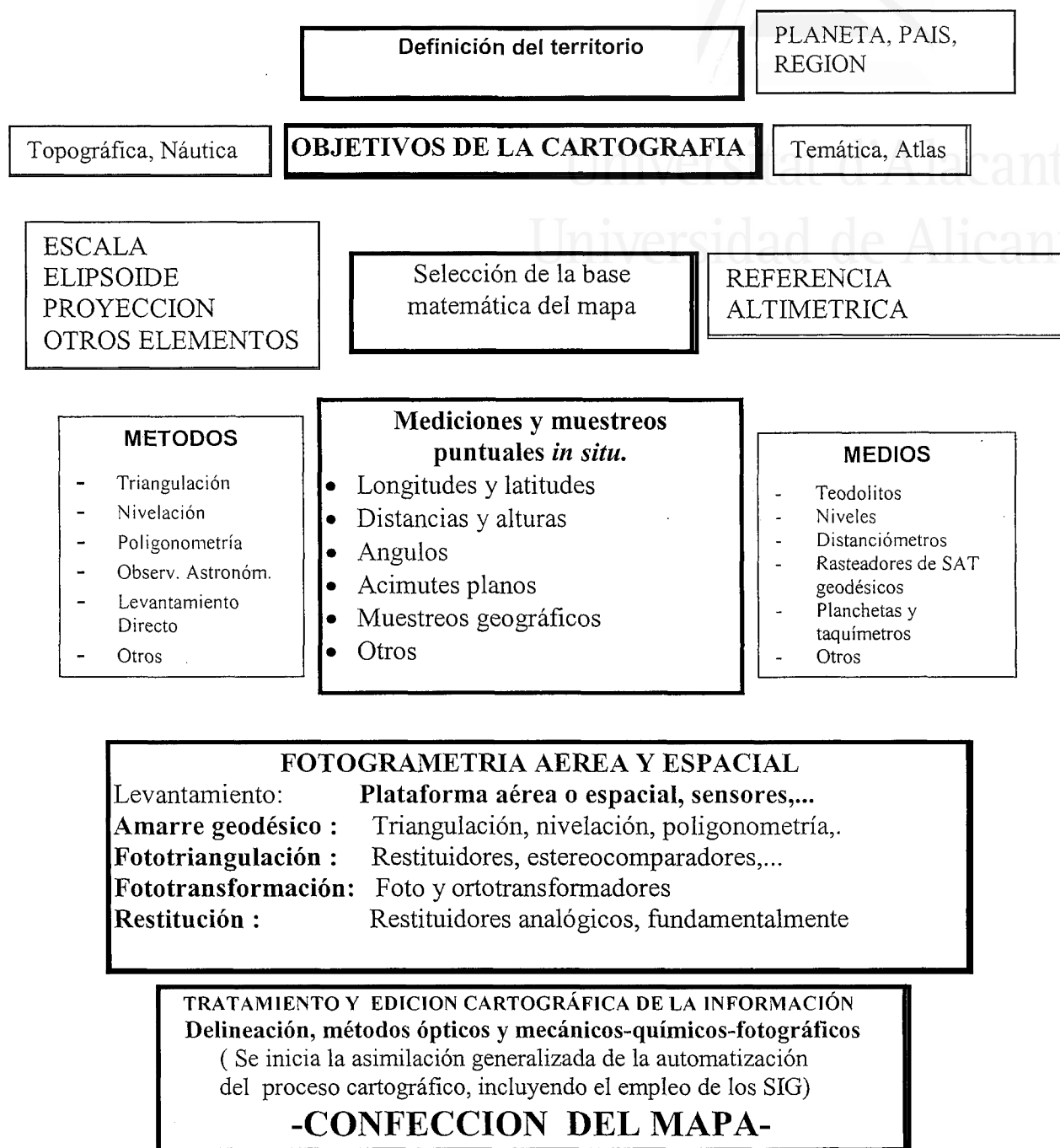


Figura 2.2 : Esquema tecnológico general de confección de mapas hasta los años 80.
(Fuente: Proyecto GEF/PNUD, 2000a)

En el año 1967, se pone a disposición de los usuarios civiles el sistema satelitario **Navy Navegación Satellite System**, más conocido como sistema **TRANSIT**. Para mejorar las posibilidades de este sistema, se desarrolla el proyecto de constelación de satélites **NAVSTAR**, lanzándose el primero de ellos el 22 de febrero de 1978. La constelación completa de 24 satélites, repartidos en 6 órbitas, se logrará

posteriormente. Surge entonces el denominado **Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**, cuya aplicación será generalizada al final de la década de los años ochenta. Un sistema similar al **GPS** norteamericano, fue establecido por parte de la antigua **URSS**, al cual se le denominó **GLONASS** (ver "Sistemas de Posicionamiento por Satélites", Ricardo Alvarez Portal et al. 2.002, entre otros manuales).

Las aplicaciones de la información radiométrica en los estudios del territorio, utilizando distintos sensores remotos, ha ampliado substancialmente las posibilidades de los cartógrafos y de los investigadores relacionados con los estudios del espacio geográfico en el proceso de captación de datos georreferenciados. Desde el 4 de octubre de 1957, fecha en que fue lanzado el **Sputnik 1** desde la antigua URSS, hasta los programas espaciales recientes de percepción remota, como es el caso del **LANDSAT – 5 y 7**, el **SPOT - 4 y 5**, el **ERST-1 y 2**, **RADARSAT II**, **ENVISAT**, **IRS**, **IKONOS** y otros, se ha avanzado vertiginosamente en las aplicaciones de la información de estas sondas a los estudios de la Tierra y la cartografía temática, haciéndose extensiva sus posibilidades a innumerables esferas de las geociencias.

Las ventajas que ofrece la percepción remota a los estudios geográficos, a la evaluación de los recursos naturales y las investigaciones relacionadas con el medio ambiente, así como a la cartografía de sus resultados, se pueden resumir de la siguiente manera, (Álvarez Portal, 1986):

- Se logra una visión de conjunto de todo el territorio estudiado (a nivel territorial, regional y global), que facilita el análisis espacial.
- Se pueden realizar los estudios en forma más eficiente y menos costosa.
- Se logra un registro permanente y exacto del territorio bajo las mismas condiciones en un momento dado.
- Facilita la actualización de los documentos cartográficos y la ejecución del monitoreo de extensos territorios.
- Es posible emplear un mismo tipo de imagen en distintos estudios multidisciplinarios.

- Se facilita la realización de observaciones, mediciones y análisis de extensos territorios de difícil acceso sin ir al terreno, lo que hace viable estudios de zonas marginales, como son los territorios montañosos, las regiones de plataforma marina, grandes humedales, etc.
- Cobertura global y periódica de la superficie terrestre.
- Homogeneidad en la toma de datos.
- Información en varias bandas espectrales, incluyendo las zonas no visibles del espectro electromagnético.
- Fácil y ágil la obtención de información, que puede ser procesada digitalmente, lo que permite automatizar el proceso.
- Otras (el uso de la electrónica digital y del “lenguaje informático” desde el mismo instante de captación de los datos, garantiza el proceso de sinergia tecnológica del que participan el resto de las que hemos denominado tecnologías avanzadas en Geomática)

El tratamiento informático de los datos cartográficos es un avance tecnológico que se ha visto reflejado, como ya se señaló, en todos los procesos fundamentales de la confección de los mapas. Los avances y desarrollos informáticos durante las décadas de los años setenta y ochenta permitieron concebir un nuevo concepto de mapa: **el digital**, en el que la imagen gráfica es sustituida por un fichero digital en el que se ubican de forma codificada todas las localizaciones y hechos.

La década de los años ochenta, es escenario del desarrollo vertiginoso y de la asimilación masiva de los métodos de la Fotogrametría Digital (FD) y la Percepción Remota (PR) y del avance tecnológico de los Sistemas de Posicionamiento por Satélites (GPS) y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), lográndose que la cartografía asistida por ordenadores alcanzara un nivel elevado de introducción en los procesos de producción.

➤ **Hasta la época actual**

En la década de los ochenta y en los primeros años de los noventa, la automatización de la cartografía cobró un desarrollo considerable. Se incrementó la

demanda de información sobre extensos territorios, no solo por los métodos gráficos clásicos, sino también en forma de mapas digitales, en formato reticular o vectorial, modelos digitales del terreno, fotomosaicos, mapas de imágenes ortocompuestas y otros productos en formato digital que aseguraban, mediante el empleo de las técnicas de computación, una solución sumamente rápida a gran número de tareas económicas y científicas.

Tanto la **FD**, como la **PR** aeroespacial, las aplicaciones **GPS** y la cartografía automatizada y los **SIG** alcanzan un nivel tal de desarrollo desde finales de los años ochenta y hasta finales de la década de los noventa del siglo pasado, que permiten su utilización por un amplio círculo de instituciones y especialistas.

De esta forma, el proceso de desarrollo de la captura y tratamiento de la geoinformación con fines cartográficos en los últimos años, se caracteriza porque irrumpen de manera generalizada en todo el ámbito geográfico aquellas nuevas tecnologías que comenzaron a desarrollarse desde finales de los años sesenta y principios de los años setenta. Se pueden significar como hitos trascendentes en el desarrollo de la información geográfica, los siguientes logros tecnológicos:

- Estaciones topográficas totales.
- Fotogrametría analítico-digital apoyada en estaciones de trabajo y computadoras personales.
- Aumento de los programas avanzados de percepción remota espacial y el surgimiento de sensores remotos para la adquisición de imágenes de muy alta resolución espacial (1m, como en el caso del satélite *Ikonos*, e incluso menos si se trata de aplicaciones militares).
- Intenso desarrollo de software comerciales y personalizados de Sistemas de Información Geográfica para distintos tipos de usuarios, según su nivel de especialización.
- Perfeccionamiento de los sistemas de cartografía automatizada.
- Eliminación de la Disponibilidad Selectiva del Sistema de Posicionamiento Global de los EE.UU, provocada por la competencia que suponen la puesta en

funcionamiento de los sistemas ruso GLONASS y desarrollo de GALILEO en la Comunidad Europea (este último, de exclusiva aplicación civil, a diferencia de las constelaciones militares anteriores).

- Avances en las técnicas computerizadas de visualización del espacio (tecnología multi-media, realidad virtual, entre otras).

- Desarrollo y comercialización de programas de Geomática y periféricos de comunicación para *Tablet PC* y agendas electrónicas, con dispositivos *PCMCIA* y *Pocket PC* con antena GPS, por citar a modo de ejemplo algunos de los adelantos tecnológicos portátiles más usuales en el ejercicio profesional.

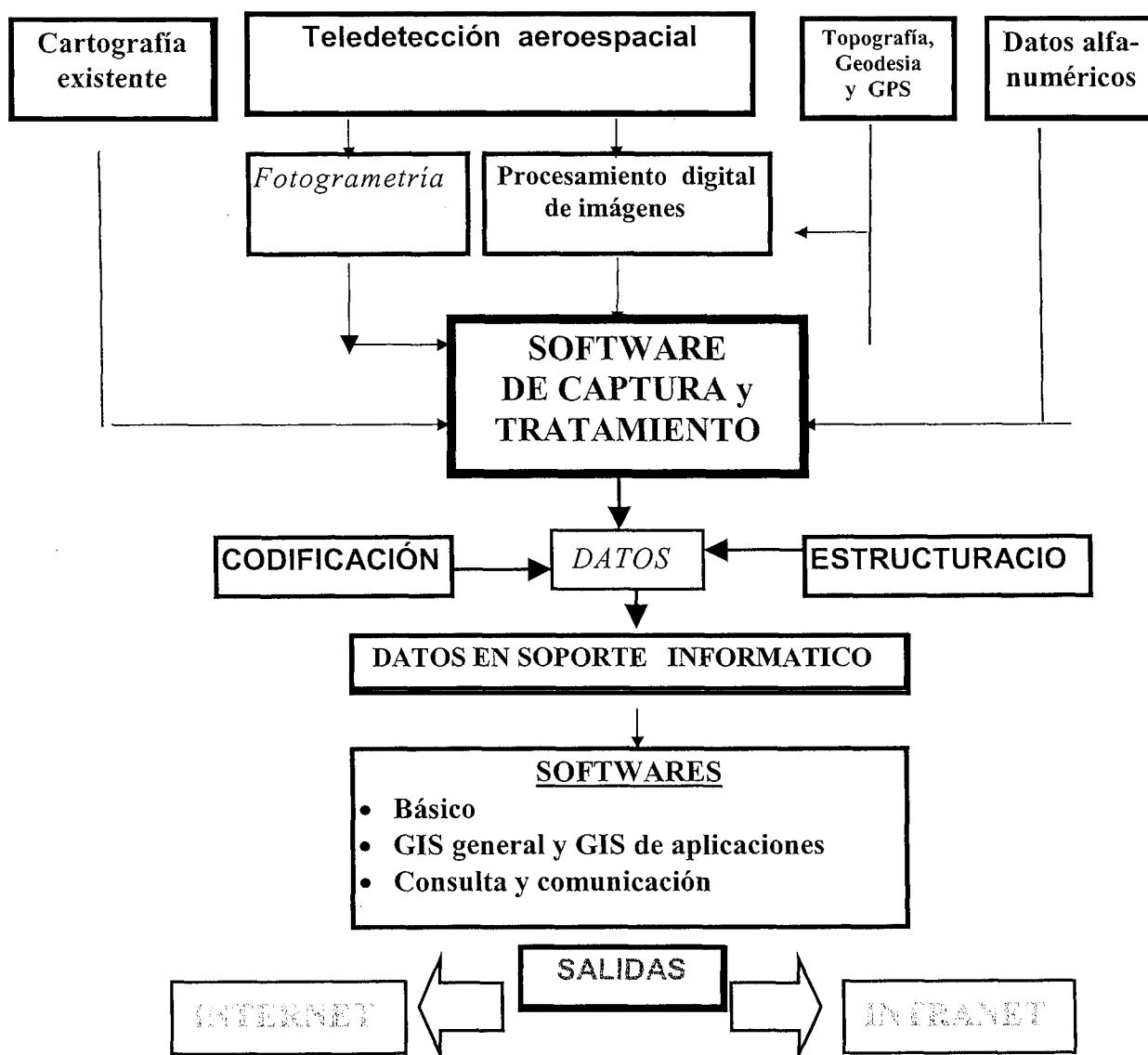


Figura 2.3. Estado actual de la captura, tratamiento y salida de la geoinformación (Fuente: Proyecto GEF/PNUD, 2000a)



Figura 2.4: Esquema Tecnológico general de confección de mapas (Estado actual). (Fuente: Proyecto GEF/PNUD; 2000a)

2.2 Evolución del estado actual de la Percepción Remota y sus aplicaciones

La Teledetección, también conocida como Percepción Remota, *Telepercepción*, *Sensoramiento Remoto* y *Sondeo a Distancia*, puede definirse como el método de estudio de la superficie de la Tierra y otros cuerpos celestes desde el espacio aerocósmico utilizando sensores remotos, a bordo de aviones de distintos tipos, incluyendo los de aerodelismo, así como globos y satélites artificiales terrestres y otras naves celestes. (Zegheru N. y M. Albotá, 1979).

Como se señaló, la Percepción Remota (PR) o Teledetección se define en términos generales como una metodología para extraer información acerca de una escena sin estar en contacto físico con ésta. El desarrollo científico - tecnológico y la experiencia han demostrado que esta definición no debe delimitarse al análisis digital de imágenes de satélite para fines de estudio del medio ambiente geofísico y geográfico. El tipo de satélites disponibles actualmente es suficientemente amplio, y es posible contar con distintos tipos de imágenes multiespectrales y de radar, con diferentes resoluciones espaciales y espectrales, cuya calidad y características son generalmente complementarias entre sí. (Colectivo de autores UAMI,1995)

La posibilidad de captar información acerca de extensos territorios desde el aire o mediante satélites, es una ventaja inapreciable para los especialistas. El uso de los sensores remotos le ha dado a los científicos la posibilidad de interpretar datos, tal y como son vistos desde grandes alturas. Estas facilidades son particularmente útiles en investigaciones sobre áreas de difícil acceso, con un costo relativamente bajo. La percepción remota es entonces muy utilizada en localizaciones tales como las zonas árticas, los desiertos, áreas de bosques, tierras pantanosas y regiones montañosas, donde mapas a grandes, medianas y pequeñas escalas de una adecuada calidad, pueden ser creados a costos relativamente bajos, a partir de imágenes de satélites.

En general, la percepción remota resulta sumamente efectiva para estudiar áreas extensas, con terrenos difíciles o inaccesibles, o en aquellos donde las investigaciones convencionales pueden ser muy costosas.

La percepción remota, aérea o por satélites, representa una fuente *casi infinita* de información. Estas técnicas habilitan al interpretador experimentado con conocimientos de las características terrestres que incluyen las condiciones geomorfológicas, de vegetación, suelos y composición mineral. (Yáñez-Trujillo, L. y V. Sorani, 1997). Una gran cantidad de tiempo y recursos pueden ahorrarse empleando la teledetección, al reducir la cantidad de trabajos de comprobación en el terreno a lo más indispensable.

Tomados a un intervalo regular y durante largos períodos de tiempo, la percepción remota por satélites, puede también ayudar a los investigadores a identificar la influencia de los cambios en las condiciones terrestres, como ocurre con los cambios en la vegetación durante las diferentes estaciones o la causa de grandes incendios forestales. Esto es particularmente útil durante el proceso cartográfico de áreas que soportan cambios frecuentes en la cobertura del terreno, como ocurre en los terrenos agrícolas, áreas cubiertas por las mareas y las zonas pantanosas. De esta forma, esta útil herramienta se ha convertido en un método difícil de dejar a un lado cuando se está llevando a cabo el estudio de la dinámica espacio-temporal de la actividad antrópica, o la evaluación de daños provocados por desastres naturales, entre otros muchos ejemplos de su aplicación.

Con la percepción remota es posible modelar con eficiencia una serie de procesos geofísicos y geográficos, como es el caso de la prospección de recursos naturales, la descripción de litologías, la productividad y contaminación de los océanos, así como el impacto del urbanismo, entre muchas otras aplicaciones. Ya es un hecho comprobado que el costo y tiempo de proceso, al que hacíamos referencia anteriormente, para estudiar este tipo de problemas, es menor al emplear percepción remota que al utilizar los métodos de fotointerpretación y fotogrametría tradicionales. (Novo, M. y R. Lara, 1997)

La visión estereoscópica --visión 3-Dimensiones--, la cual es importante para propósitos tales como la cartografía y los estudios forestales, es posible ejecutarla mediante imágenes obtenidas a distancia. La estereoscopia se hace posible mediante la superposición de imágenes adyacentes con áreas comunes. Esto puede

ser logrado mediante la superposición de trayectorias o la inclinación del *sensor*, para obtener una vista lateral de áreas adyacentes. Las imágenes tomadas por los satélites franceses de la serie SPOT pueden ser observadas estereoscópicamente y son particularmente populares entre los científicos que emplean las técnicas de teledetección para evaluar los recursos terrestres, debido a que se combinan su banda pancromática de alta resolución --de hasta 10 metros - con las espectrales SPOT XS - de 20 metros- o con las espectrales del Landsat --30 metros. (Colectivo de autores UAMI,1995)

La luz visible, los colores distinguidos por nuestros ojos, constituyen sólo una estrecha banda dentro del amplio espectro electromagnético. Una ventaja particular de la teledetección es la *multiespectralidad* que nos ofrece la oportunidad de utilizar diferentes "bandas invisibles" del espectro eléctrico magnético que ofrece la superficie terrestre, fuera del ancho de banda de la luz visible. Hay muchos fenómenos naturales que sólo pueden ser captados a distancia, empleando las bandas del espectro electromagnético que son invisibles al ojo humano. Por ejemplo, los satélites pueden identificar reservas geotermales cercanas a la superficie terrestre, mediante sondas que detectan el calor emitido por estos puntos. El procedimiento es similar, en principio, a las cámaras de seguridad infrarrojas --visión nocturna--, empleadas para detectar la presencia de intrusos en la oscuridad o elementos subyacentes en el suelo. Los resultados de detectar fenómenos invisibles pueden ser desarrollados por el hombre para asignar falsos colores a los *pixeles* que componen la imagen digital o falsos tonos de sombra en impresiones en blanco y negro. (Yáñez-Trujillo, L., R. Alvarez, S. Cerdeira y V. Sorani, 1997)

En aplicaciones temáticas para su uso en las ciencias de la tierra, las imágenes de varias bandas del espectro electromagnético del mismo lugar del terreno, son generalmente utilizadas para discriminar con mayor exactitud las distintas coberturas de interés. Esto es útil porque cada banda es especialmente sensible para reflejar un fenómeno dado: mostrando límites de la vegetación en unos casos, diferencias en la composición de los suelos en otros y así sucesivamente. Por supuesto, mediante el empleo de bandas múltiples, más información puede ser obtenida como resultado de tener más combinaciones de color disponibles para el análisis. (Yáñez-Trujillo, L. y

R. Alvarez,,1997). Por esta razón, se ha hecho uso de las posibilidades que brinda la PR en los estudios que se llevaron a cabo durante la realización de la presente tesis.

2.2.1 Clasificación de los levantamientos y sensores remotos

La clasificación de los sensores remotos se hace teniendo en cuenta los siguientes factores, según Alvarez Portal (1982) "Teledetección de la Tierra": (Libro presentado a la editorial Ciencia y Técnica, La Habana, Cuba. Original en manos del autor):

A. Teniendo en cuenta desde que plataforma operan los sensores remotos:

- PR aérea.
- PR espacial.
- PR terrestre.

B. Considerando el procedimiento que emplean los sensores remotos para captar la energía:

- PR o SR pasivo (reciben la energía de una fuente externa).
- PR o SR activo (emiten su propio haz de energía).

C. Considerando la cantidad de bandas del espectro electromagnético que registra el sensor:

- PR o SR monoespectral o monobanda.
- PR o SR multiespectral o multibanda.

D. Atendiendo las características de la órbita de los satélites, el levantamiento de PR puede ser:

- Heliosincrónico (el satélite pasa a la misma hora por un punto de la Tierra).
- Polar, ecuatorial (teniendo en cuenta la inclinación de la órbita del satélite con respecto al Ecuador: aproximadamente 90 grados en el primer caso y casi cero grados en el segundo).
- Geoestacionario (la altura orbital es de aproximadamente 34000 km y el satélite observa un hemisferio terrestre permanentemente).

E. Teniendo en cuenta la tecnología o procedimiento técnico para grabar la energía recibida por el sensor:

- PR o SR fotográfico (cámaras fotográficas de diferentes tipos)
- PR o SR óptico-electrónicos (cámaras de vídeo, equipos de barrido o scanners).

- radiómetros de microondas, espectrómetros, sistemas de televisión, otros).
- F. Considerando la banda del espectro en la que el sensor funciona para grabar la energía recibida por el sensor:
 - PR o SR en el espectro visible
 - PR o SR de microondas
 - PR o SR térmico
 - PR o SR radar

2.2.2 Elementos de un Sistema de Percepción Remota Espacial

Los elementos que componen un sistema de percepción remota espacial son los mencionados a continuación (Alvarez Portal, 1982; Chuvieco E., 1996).

- a. Fuente de energía de la radiación electromagnética que detecta el SR (externa: PR pasiva; propia del SR: PR activa).
- b. Atmósfera (medio en el que se propaga la REM incidente y la reflejada o emitida por la superficie).
- c. Cubierta terrestre (objetos terrestres).
- d. Sistema sensor: SR y equipos periféricos, plataforma: capta la energía procedente de las cubiertas terrestres, la codifica, graba y/o envía directamente al sistema de recepción terrestre).
- e. Sistema de recepción – comercialización, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba, se corrige y se distribuye a los usuarios.
- f. Intérprete, que convierte los datos obtenidos en información temática de interés ya sea por un proceso o tratamiento visual – instrumental (analógico) o digital.
- g. Usuario final, encargado de evaluar el resultado fruto del proceso, aplicarlo convenientemente y dictaminar sobre las consecuencias que se deriven del análisis de la información.

Una persona es un sistema biológico de percepción remota:

- El ojo humano (sistema sensor) recibe la luz solar (la fuente) reflejada por el medio que lo rodea (cubierta)
- La señal se transmite al cerebro (sistema de recepción) y El individuo es intérprete y usuario final de la información.

Tabla 2.1 Comentarios de las bandas del Espectro Eléctrico Magnético donde operan los diferentes sensores. Colectivo de autores UAMI, 1995.

Región	Longitud de Onda	Comentarios
Rayos gamma	<0.03 nm	La radiación incidente se absorbe completamente en la parte superior de la atmósfera y no está disponible para los sensores remotos.
Rayos X	0.03 a 3 nm	Son absorbidos completamente por la atmósfera. No se emplea para teledetección.
Ultravioletas	.003 a 0.4 μm	Longitudes menores que 0.3 μm son completamente absorbidas por el ozono en la atmósfera superior.
Banda UV Fotográfica	0.3 a 0.4 μm	Transmitida a través de la atmósfera. Detectable con películas y foto detectores, pero la dispersión atmosférica es severa.
Visible	0.4 a 0.7 μm	Detectable con película y foto detectores. Incluye el pico de energía reflejada por la tierra a 0.5 μm .
Infrarrojo	0.7 a 100 μm	Interacción con la materia varía con la longitud de onda. Las ventanas de transmisión atmosférica están separadas por bandas de absorción.
Banda de Infrarrojo reflectivo	0.7 a 3.0 μm	Radiación solar reflejada que no contiene información acerca de las propiedades termales de la materia. La banda de 0.7 a 0.9 μm es detectable con película y es llamada la banda de infrarrojo fotográfico.
Banda del infrarrojo térmico	3 – 5 μm 8 – 14 μm	Las principales ventanas atmosféricas en la región termal, imágenes en estas longitudes de onda son adquiridas por "barredores" óptico – mecánicos y sistemas especiales de vidicon, pero no película.
Microondas	0.1 a 30 cm	Las longitudes de onda mayores pueden penetrar nubes, neblina y lluvia. Las imágenes son adquiridas en el modo activo o pasivo.
Radar	0.1 a 30 cm	Forma activa de sensores remotos de microondas: Las imágenes de radar son captadas en varias bandas de longitud de onda.
Radio	>30 cm	Porción de longitud de onda mayor del espectro electromagnético. Algunos radares clasificados con longitudes de onda muy grandes operan en esta región.

Expresa Chuvieco, 1996, los sensores remotos captan la energía que llega a la altura donde estos operan desde una plataforma dada (aérea, espacial o terrestre). Los cuerpos emiten energía en una sucesión de valores de longitud de onda (λ) o de frecuencia (F), en forma continua, emitiendo para cada valor de ésta una intensidad radiante distinta, lo que diferencia a unas fuentes de emisión de otras. Esto se debe básicamente a la temperatura de emisión (Ley de Wien). Esta sucesión continua de valores de λ o de F, de composición similar, es lo que se conoce como espectro electromagnético. El espectro electromagnético (EE) se ordena en función de las λ y/o de las F. Las ondas muy cortas se miden en micrones (μm), las más largas en mm, cm o m y las muy largas (telecomunicaciones) en km. Las frecuencias se dan en Hertzios (Hz).

El EE se divide en bandas espectrales. En el caso de la Teledetección se destacan las bandas siguientes: Espectro visible, Espectro Infrarrojo, Microondas

- Espectro visible: (banda de 0,4 a 0,7 μm)
- infrarrojo: infrarrojo cercano, reflejado o fotográfico (banda de 0,7 a 1,3 μm); infrarrojo medio (banda de 1,3 a 8 μm); infrarrojo lejano o térmico (banda de 8 a 14 μm)
- Microondas (a partir de 1 mm)

A las bandas del espectro visible y del infrarrojo se les denomina en su conjunto

Espectro Óptico

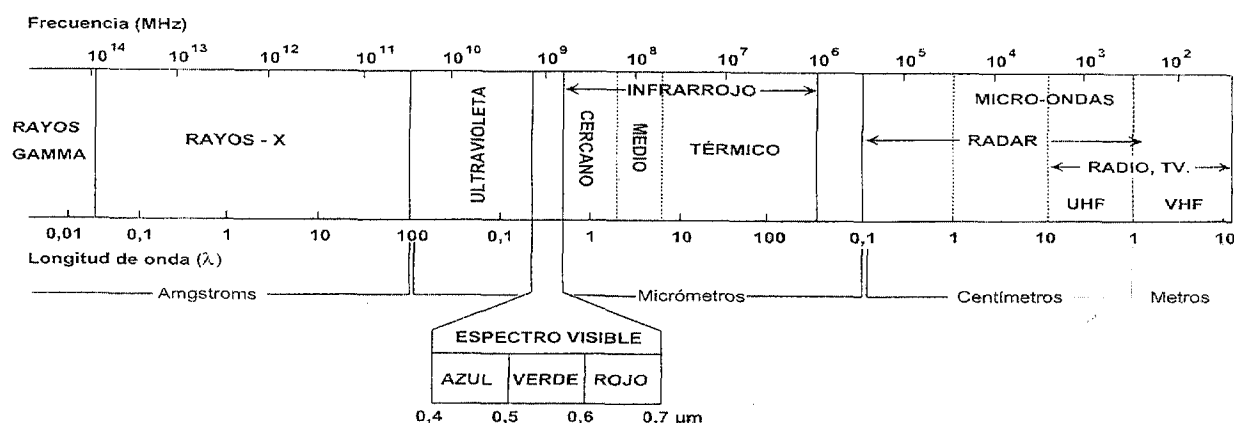


Figura 2.5: Espectro Electromagnético (Tomado de Chuvieco E., 1995)

Debido a las posibilidades del Radar para penetrar las nubes, el agua, la nieve y vegetación poco densa, una imagen radar ofrece la posibilidad de lograr una vista de un fenómeno examinado a través de tales obstáculos. Esta técnica es especialmente útil para investigaciones en áreas de frecuente presencia de nubes (como es el caso de Cuba como país tropical) o para obtener información bajo del sustrato suelo o de superficies herbáceas.

El Radar es también muy útil porque acentúa la rugosidad de las superficies en sus imágenes. Esto ocurre debido al incremento relativo de la altura cuando las radiaciones detectadas aumentan. Esta altura relativa también se incrementa al ser más ancho el ángulo de incidencia --la inclinación de la cámara- con respecto a su posición vertical. Para los científicos que estudian los suelos, esta propiedad puede ser muy útil al estudiar fenómenos tales como la dureza, donde la altura relativa puede ser acentuada con el objetivo de mejorar la detección. Una imagen de un suelo rocoso, tomada por un sensor de radar, puede mostrar una textura moteada distintiva. (Lillesand, T. M. And R. W. Kiefer, 1994)

Markham, B. L. And J. L. Barrer, 1985 plantean que antes de que cualquier imagen de sensores remotos pueda estar disponible para la cartografía, los errores vinculados con el desplazamiento geométrico y las interferencias atmosféricas deben ser corregidos. Las fuentes comunes de errores en las imágenes de satélites son:

- ◆ Errores orbitales y de vuelo.
- ◆ Curvatura de la Tierra.
- ◆ Rotación de la Tierra.
- ◆ Desniveles del terreno.
- ◆ Interferencias atmosféricas (nubes, niebla y humo).

La percepción remota está basada en gran medida en el Análisis Digital de las imágenes. El análisis a su vez está fundamentado en dos grandes áreas:

- Transformaciones y Reconocimiento de Patrones, es decir,
Análisis = Transformaciones + Reconocimiento de Patrones.

Las transformaciones (Rosenfeld y Kak, Vol I, 1982) son todas aquellas operaciones que se le hacen a la imagen con el objeto de poner en evidencia una o varias clases de objetos presentes en la imagen; una vez realizados se procede a su reconocimiento (Rosenfeld y Kak, Vol II, 1982), es decir a su medida y cuantificación. Esto quiere decir que para reconocer un patrón es necesario primero realzarlo o ponerlo en evidencia.

La corrección digital de los errores en las imágenes se ha hecho posible mediante el empleo de técnicas de proceso automatizado. Las imágenes de sensores remotos son normalmente almacenadas en formato digital --registradas en código binario. La corrección de errores geométricos en imágenes individuales es usualmente ejecutada dándole a la computadora las coordenadas correctas de un número determinado de puntos de control, donde dichas coordenadas son conocidas con suficiente exactitud, para cada imagen. La imagen es entonces automáticamente estirada, desplazada y rotada, para producir una imagen corregida geográficamente.

2.2.3 Importancia de la Teledetección para el estudio de los recursos naturales en los ecosistemas costeros

Según Chuvieco, 1996, la información del medio natural, obtenida mediante la teledetección, tiene un amplio campo de aplicación en diversas ciencias dedicadas al estudio de las zonas costeras marinas, como son:

La Oceanografía, campo en el que la percepción remota ha revolucionado los métodos de trabajo tradicionalmente empleados, aportando una información cualitativamente nueva del medio ambiente. Esto ha permitido confeccionar distintos mapas temáticos de la plataforma marina: de los tipos de fondo, de sedimentos superficiales, geomorfológicos, de paisajes submarinos, de formas del relieve, de vegetación submarina, de ubicación de cuerpos de arena, entre otros. Estos mapas resultan de gran interés para la economía. Los de tipo de fondo, sedimentos superficiales y vegetación submarina son de gran importancia para la pesca de la plataforma, ya que las especies comerciales y muy en especial aquellas de un alto valor exportable, como el camarón y la langosta, están asociados a determinados tipos de fondo. A partir del uso de sensores espaciales y aéreos pueden

caracterizarse parámetros tales como temperatura superficial del mar, color (densidad de pigmentos del fitoplancton y otros constituyentes, atenuación de la luz, etc.) asociados a fenómenos tales como corrientes, surgencias y zonas frontales, anomalías de nivel del mar asociadas a las corrientes geostróficas, campos de viento superficial asociados a stress y corrientes Ekman.

La Hidrografía es otra de las esferas de las actividades vinculadas con el estudio y la cartografía de las zonas marinas que se ha beneficiado con el uso de las tecnologías espaciales. Mediante la aplicación de los métodos de teledetección y los sistemas de posicionamiento por satélite, se ha desarrollado tecnológicamente la creación y actualización de cartas náuticas a medianas y grandes escalas y se han caracterizado diferentes variables hidrográficas, tales como campos de olas, corrientes y masas de aguas, así como la determinación de profundidades a partir de imágenes.

En los **estudios del medio ambiente** la teledetección aeroespacial ha servido de herramienta muy eficaz para llevar a cabo las actividades de estudios de impacto ambiental, monitoreo de zonas de desastres, entre otras actividades. Con la operatividad y alcance de los métodos de teledetección se han logrado resultados de especial interés en el estudio de la contaminación de las bahías y zonas de la plataforma con petróleo, aguas residuales de las industrias y otras sustancias activas, obtención de datos sobre el estado y la clasificación de zonas boscosas, embalses, entre otras actividades.

Además, las técnicas de percepción remota proporcionan para **los estudios costeros** los datos siguientes:

1. Cartografía de la vegetación costera y su biomasa.
2. Control de los cambios artificiales y naturales en las zonas costeras, incluyendo los cambios en el uso de la tierra.
3. Cartas hidrográficas de gran escala en zonas de aguas someras.
4. Cartografía de los detalles geomorfológicos, incluyendo los bancos submarinos y la erosión de la línea costera.

5. Cartografía de la circulación de las corrientes, ondas y otras propiedades dinámicas, que influyen sobre la erosión costera, la navegación y el diseño de las bahías.
6. Detección de los manantiales costeros de agua dulce.
7. Rastreo de la velocidad y dispersión de ciertas sustancias naturales y contaminantes, tales como los sedimentos en suspensión y las manchas de petróleo.
8. Cartografía de la clorofila y las regiones de corrientes convectivas ascendentes ricas en elementos nutritivos de importancia para la administración de los recursos pesqueros.
9. Otros.

Quiere esto decir que la percepción remota coadyuva al proceso cognoscitivo multilateral de los recursos naturales de la Tierra. La aplicación de los datos aeroespaciales a las investigaciones de los recursos naturales y del estado medioambiental constituyó un salto cualitativo en los niveles de aseguramiento de la información científico – técnica multidisciplinar de la presente tesis, debido a las ventajas que ofrece la exploración cósmica y aérea, las cuales son superiores en muchos aspectos a las que nos ofrecen los métodos tradicionales de investigación *in situ*.

Estas ventajas son mundialmente reconocidas y aprovechadas en un amplio círculo de países para elevar la efectividad de las investigaciones del entorno geográfico. Una de las ventajas principales consiste en que se disminuyen los trabajos de campo de las investigaciones, gracias a lo cual se reducen los costes de las mismas (Alvarez P.R, 2002).

Por otra parte, el empleo de la información georreferenciada que se obtiene mediante la teledetección permite elevar la calidad y la exactitud de los resultados, lo cual se sustenta en las amplias posibilidades informativas y la calidad en la representación del terreno que brindan las imágenes y datos obtenidos por medio de los métodos y sensores remotos de teledetección, destinados para la realización de estudios diversos, incluyendo la cartografía temática sobre recursos naturales de la Tierra. Esta ventajas ya fueron señaladas más arriba.

Sin embargo, la percepción remota no es una panacea que pueda resolver todos los problemas científicos que se plantean en los estudios territoriales. En realidad, esta tecnología tiene sus limitaciones, entre ellas, destacaremos las siguientes:

1. No permite evaluar las características internas de los cuerpos naturales.
2. Su empleo requiere entrenamiento especial del personal técnico.
3. La observación desde un plano superior puede dificultar la identificación de los objetos y rasgos.
4. Requiere de una fuerte inversión en la adquisición de medios técnicos e imágenes (datos, información de calidad...).

Por otra parte, diversos factores técnicos y naturales influyen negativamente en el proceso de adquisición de las imágenes lo que requiere llevar a cabo una selección de las mismas con distintas correcciones y calibraciones, usualmente mediante técnicas complejas y bajo el auxilio de *software* todavía más especializado y profesional de proceso digital de imágenes.

Para trabajar con la percepción remota es necesario tener una serie de conocimientos indispensables y específicas, como son:

- Naturaleza de los datos de percepción remota que brindan los sensores.
- Características espectrales de la superficie terrestre.
- Procesos y transformaciones digitales.

2.3 Desarrollo de los Sistemas de Posicionamiento por Satélites y sus aplicaciones

Los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) son dispositivos que permiten a una persona obtener las coordenadas de la ubicación en la que se encuentra a partir de las transmisiones que llegan vía satélite. Tres o más satélites proporcionan las señales que son captadas por un receptor GPS, con las que se calcula con una exactitud que depende del equipo, del método de observación, del estado de los Satélites GPS y de la atmósfera, así como de otros factores, en qué punto de la superficie terrestre se encuentra el usuario. (Alvarez Portal, et al 2002); (Enciclopedia Encarta, 2001).

Un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) debe estar conformado por una constelación de un mínimo de 24 satélites que orbitan sobre la Tierra. Esta tecnología espacial se puede considerar como un método geodésico avanzado que da la posibilidad de proporcionar información precisa en posición y tiempo, mediante un proceso simple para el usuario (señal de radio de frecuencia modulada), a cualquier hora del día y de la noche, sin límites de intervisibilidad y con gran rapidez. Para la recepción se emplean distintos tipos de equipos de campo GPS (receptores) para calcular posiciones sobre la Tierra. Las señales deben ser recibidas desde al menos tres satélites, para poder establecer la posición del receptor en latitud y longitud o según un sistema de coordenadas proporcionado por el instrumento. Las mediciones desde un cuarto satélite son necesarias para calcular la altura del punto de recepción en tierra. (Hurn, 1989)

La configuración del GPS “Navstar” consta de tres elementos estrechamente vinculados:

- ◆ Veinticuatro satélites artificiales de la Tierra (SAT) que se encuentran en seis órbitas y que son administrados y operados por el Departamento de Defensa de los EE.UU. de América.
- ◆ Los receptores que conforman la red de usuarios del sistema que pueden ser utilizados por el método autónomo o diferencial.
- ◆ Las estaciones terrenas de control y operación, ubicadas en varios sitios del planeta en una posición geográfica conocida, con el objetivo de realizar las correcciones de las señales satelitales y ofrecer datos sobre efemérides exactas de los SAT-GPS.

Cada satélite en órbita lleva a bordo una computadora y un reloj atómico muy exacto (10^{-14} s). La computadora calcula la órbita semanal del satélite y en el futuro, pronosticará las condiciones atmosféricas en ese período. Mediante consultas a su reloj y a los datos generados por la computadora, el satélite puede informar donde se encuentra en el espacio, cada microsegundo, así como transmitir su posición y tiempo de forma continua.

Los receptores móviles en el terreno no proporcionan lecturas de posición exentas de error. La razón principal de esta inexactitud es cierto ruido aleatorio que se le introducen a las señales GPS, llamado disponibilidad selectiva (SA). Esto es hecho principalmente para dificultar el uso de los GPS por otra potencia militar con propósitos hostiles. Sin embargo, desde mayo del 2000, por un decreto presidencial, fue eliminada la disponibilidad selectiva, lo que ha permitido elevar la exactitud de las mediciones por el método autónomo, dada la competencia que supone para "Navstar GPS" la continuidad de la antigua constelación soviética, ahora la "Glonass" rusa, así como la inminente creación de una constelación europea de uso civil, la primera en el mundo de origen no militar: "Galileo".

Entonces, en aquellos casos que se requiera una elevada precisión, es necesario analizar una parte de las señales recibidas después de la captura y compararlas con señales recibidas simultáneamente en una estación de control en tierra, es decir, una base. La diferencia entre esas dos señales permitirá aumentar la precisión de la información, gracias al conocimiento de la posición exacta de la antena de ésta última. Este procedimiento es conocido como **corrección diferencial**.

2.3.1 Tipos de GPS en funcionamiento actualmente

Según Alvarez Portal, R., J. Ferrari, C. J. Hidalgo, E. Rodríguez Roche, (2001), los sistemas de posicionamiento actualmente en funcionamiento son:

- ◆ Sistema SLR.
- ◆ Sistema VLBI.
- ◆ Sistema TRANSIT.
- ◆ Sistema GPS.
- ◆ Sistema GLONASS (Rusia)

Considerando que actualmente en los trabajos relacionados con el monitoreo terrestre, la captura de coordenadas de puntos de apoyo y de control utilizados en fotogrametría y en la corrección geométrica de imágenes satelitales es empleado principalmente el Sistema de posicionamiento Global de los EE.UU., se hará énfasis en su descripción técnica más detallada.

2.3.2 Descripción técnica del Sistema GPS

El sistema GPS (Global Positioning System) fue creado para mejorar el sistema TRANSIT en servicio civil desde 1967. Desde 1973 se empezó a desarrollar el proyecto de la constelación NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging), Satélites de Navegación, Cronometría y Distanciometría y el 22 de febrero de 1978 se lanzó el primer satélite.

Pero el GPS es algo más que un sistema de navegación, pudiendo realizarse con el posicionamiento altamente preciso que resulta de gran aplicación en la Topografía, la Geodesia y en otras actividades vinculadas con las geociencias.

Como se señaló, Rusia posee un sistema equivalente denominado GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System). (Núñez, A. y otros 1992)

- Sistema GPS. Constitución.

Ya se había mencionado que en las operaciones para el posicionamiento con este sistema intervienen diferentes elementos o sectores que para su estudio se dividen en :

- ◆ sector espacial,
- ◆ sector de control,
- ◆ sector usuario.

- Sector Espacial.

Está compuesto por, al menos, 24 satélites operacionales y algunos de reserva (para el caso de que uno o varios de los operativos sufra una avería), que conforman la constelación NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging). El primer satélite de esta constelación fue puesto en órbita el 22 de febrero de 1978

2.3.3 Constelación

La constelación actualmente operativa está compuesta por 6 órbitas prácticamente circulares con inclinación de 55° y uniformemente distribuidas en el plano del Ecuador. En cada órbita hay 4 satélites para un total de 24 satélites con una altitud de 20.180 km., lo que determina de acuerdo con la Tercera Ley de Kepler un período de 12 horas siderales. Cada plano orbital se identifica por una letra de la A a la F, y cada posición del satélite dentro los mismos, por un número del 1 al 4, lo que implica 24 combinaciones posibles.

Los satélites de la constelación NAVSTAR son del tipo *activos* que emiten constantemente. (Rodríguez Miranda, 2000, pp. 5)

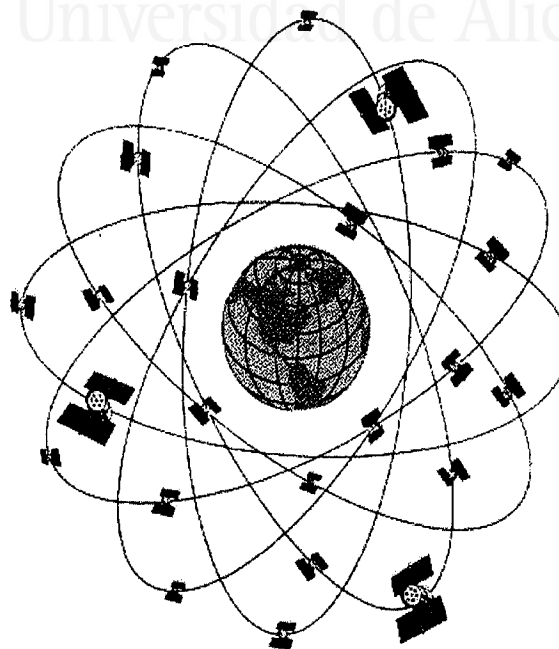


Figura 2.6: Esquema de la constelación NAVSTAR

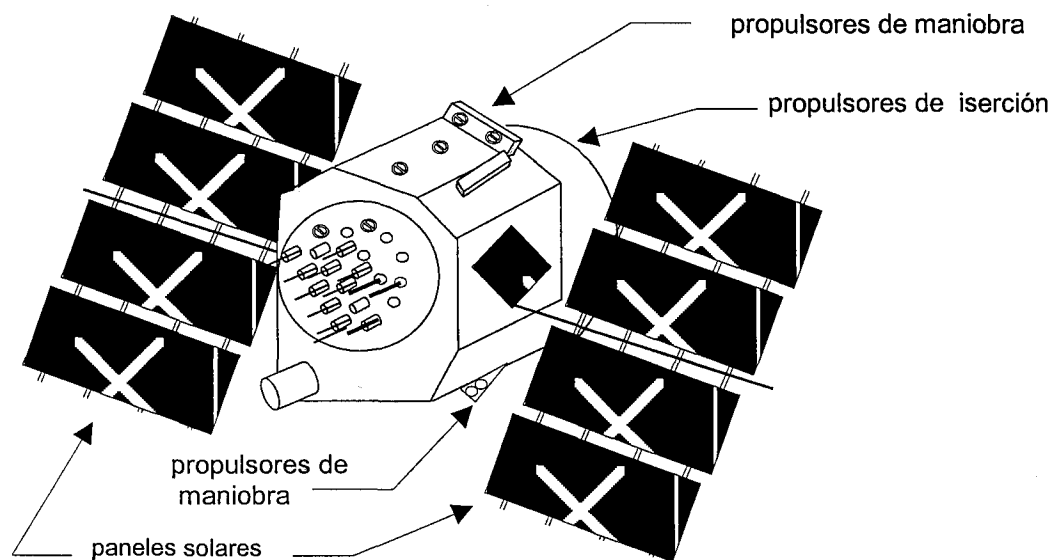


Figura 2.7 Esquema de un satélite de la constelación NAVSTAR

Entre los principales componentes de un satélite, se pueden citar los siguientes:

- los relojes u osciladores como fuentes de frecuencia,
- los paneles solares para captar la energía solar,
- la batería de níquel-cadmio para el almacenamiento de energía,
- propulsores de maniobra para posibles corrección de la órbita,
- la antena emisora. (Rodríguez Miranda, 2000, pp. 6)

2.3.4 Relojes u osciladores

Todos los satélites de la constelación NAVSTAR poseen 2 ó 4 relojes u osciladores, uno de los cuales es seleccionado desde la Estación Maestra de Control para dar servicio. Los satélites del bloque I empleaban relojes de cuarzo pero los del bloque II emplean relojes atómicos de rubidio o cesio, todavía más precisos.

2.3.5 Portadoras y códigos

Cada satélite emite sobre dos portadoras, L1 y L2 , cuyas frecuencias son el resultado de multiplicar la fundamental (frecuencia modulada de 10.23 MHz) por una constante:

L1 : de frecuencia 1575.42 MHz que resulta de 10.23×154 ($\lambda = 19.05$ cm),

L2 : de frecuencia 1227.60 MHz que resulta de 10.23×120 ($\lambda = 24.45$ cm).

La designación de las portadoras se debe a que sus valores de frecuencia corresponden con la banda L de radiofrecuencias. Las emisiones en L1 y L2 se realizan sin solución de continuidad, constituyendo el interfase entre el segmento espacial (satélites) y el segmento usuario (receptores). El hecho de radiar dos frecuencias permite, por comparación de los diferentes retardos entre ellas, determinar la refracción producida, por ejemplo, en la Ionosfera.

Las frecuencias portadoras son moduladas por los dos códigos de ruidos pseudoaleatorios y por un mensaje de navegación. Tanto las frecuencias portadoras como las modulaciones son controladas por los relojes atómicos, a bordo de cada satélite. Éstos, de gran estabilidad, constituyen el fundamento de las altas precisiones del sistema, por la sincronización en Tiempo Universal Coordinado (UTC).

Sobre las portadoras L1 y L2 se envía, por modulación, el código **P** (código principal), dando origen al servicio de Posicionamiento Preciso destinado al uso exclusivo de las fuerzas armadas de los E.U.A. y sus aliados, mientras que sobre la portadora L1 es modulado también, el código **C/A**, el cual permite el servicio estándar de posicionamiento de acceso libre a todos los usuarios.

2.3.6 Sector de control

Está compuesto por 5 estaciones de control distribuidas regularmente en longitud y son:

- ◆ Estación en la base Falcon Air Force cerca de Colorado Springs, en el territorio continental,
- ◆ Estación de la isla de Ascensión, en el Atlántico Sur.
- ◆ Estación de la isla de Diego Garcia, en el Océano Indico.
- ◆ Estación de la Isla de Kwajalein, en el Pacífico Occidental.
- ◆ Estación de las Islas Hawaii, en el Pacífico Oriental.

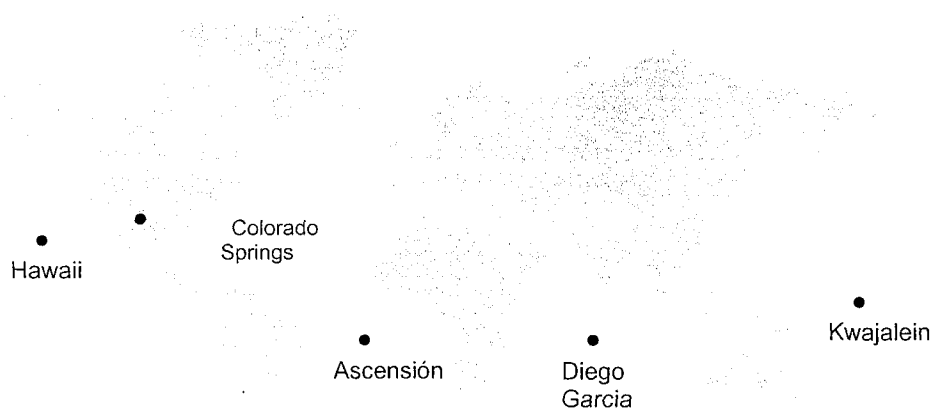


Figura 2.8 Distribución de las Estaciones de Control que componen el Sector de Control del sistema GPS

La estación de Colorado Springs es la Estación Central o Maestra, conocida como CSOC (**C**onsolidated **S**atation **O**peration **C**enter).

Todas las estaciones tienen coordenadas determinadas con un máximo grado de precisión, mediante relojes de cesio y están recibiendo constantemente señales de todos los satélites sobre el horizonte, pudiendo de esta forma determinar con gran precisión las órbitas de los diferentes satélites; todos los datos recibidos son enviados a la estación central, donde se procesan y se calculan las efemérides, los estados de los relojes y de "salud" de los satélites y toda la información que ha de ser transmitida y almacenada en la memoria de cada satélite.

La estación central puede, además, activar los sistemas de maniobra de los satélites para hacer modificaciones en sus órbitas. Las comunicaciones desde las estaciones a los satélites se realizan en la frecuencia de 1.78374 GHz, mientras que entre el satélite y las estaciones lo hacen en la frecuencia de 2.2275 GHz, ambas correspondientes a la banda S.

2.3.7 Sector usuario.

Está compuesto por los equipos *receptores* de los usuarios. Éstos tienen diferentes características, según sus aplicaciones, pero en todos pueden considerarse dos componentes básicos:

- ◆ **la antena,**
- ◆ **el receptor / procesador**

La antena

Su función es convertir la radiación electromagnética proveniente del satélite en una corriente eléctrica (la antena del satélite hace justamente lo contrario).

Las antenas pueden ser internas (incorporadas al receptor) o externas (con elemento de estacionamiento). Las antenas de los receptores GPS para aplicaciones topográficas o geodésicas son siempre externas

A la antena están referidas las coordenadas halladas y está compuesta por tres elementos fundamentales:

- ◆ Elemento físico receptor.

En el que se distingue el *centro radioeléctrico* que es el punto al que realmente se le determinan las coordenadas.

- ◆ Preamplificador o previo.

Permite amplificar la débil corriente eléctrica obtenida en la antena, para que pueda ser conducida hasta el receptor.

- ◆ Elemento de estacionamiento.

Sólo presente en los receptores para aplicaciones geodésicas, permite situar la antena sobre el punto (estacionar) y puede ser de tres tipos:

- Trípode.
- Bastón extensible.
- Base de centro sobre pilar.



Figura 2.9 Antena sobre plataforma niveladora

El receptor / procesador

Está compuesto por:

- ◆ Sección de recepción (con n de canales para el seguimiento de n satélites).
- ◆ El *software* de operación.
- ◆ Memoria.
- ◆ Teclado de control (interacción usuario → receptor).
- ◆ Pantalla (interacción receptor → usuario).
- ◆ Conectores y salidas,
- ◆ Fuente de alimentación (batería)

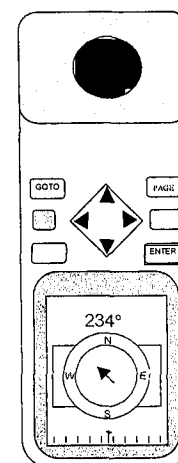


Figura 7.10 Receptor de mano con antena integrada

2.3.7.1 Clasificación de los receptores

Los receptores GPS pueden clasificarse de acuerdo a:



- número de frecuencias que es capaz de captar
 - una frecuencia (L1)
 - dos frecuencias (L1 y L2)
- su campo de aplicación
 - geodésicas,
 - navegación aérea,
 - navegación marítima

Los receptores para aplicaciones geodésicas se distinguen por tener antenas independientes (no integradas al receptor) que pueden estacionarse sobre el punto mediante aditamentos tales como trípode, bastón extensible y base para pilar. Éstos últimos, resultan los más precisos de todos los fabricados. (Rodríguez Miranda, 2000, pp. 11 – 12)

2.3.8 Sistemas de medición de distancias

En las mediciones GPS se distinguen tres sistemas básicos para la medición de la distancia entre el satélite y la antena receptora:

- ◆ Sistema Doppler,
- ◆ Pseudoistancias,
- ◆ Medida de Fase.

2.3.8.1 Sistema Doppler

Este método es semejante al descrito para el antiguo sistema TRANSIT, aunque en el caso de los GPS resulta menos preciso, debido a que los satélites de la constelación NAVSTAR orbitan a 20200 km, mientras que los TRANSIT lo hacían a 1000 km, lo que trae como consecuencia que la cuenta Doppler para los satélites NAVSTAR es más uniforme y por lo tanto, menos precisa, ya que la precisión de un sistema Doppler la ofrece justamente la rápida variación en las frecuencias recibidas, originadas por rápidas variaciones en las distancias.

El sistema permite un posicionamiento rápido dado que siempre hay varios satélites a la vista, aunque impreciso, por la lenta variación de la cuenta Doppler ya

El sistema permite un posicionamiento rápido dado que siempre hay varios satélites a la vista, aunque impreciso, por la lenta variación de la cuenta Doppler ya explicada, constituyendo este sistema una buena aproximación inicial en el posicionamiento como base para uno más refinado, el de pseudodistancias.

2.3.8.2 Pseudodistancias

Este método es exclusivo de la técnica GPS y consiste en una multilateración tridimensional que sitúa al receptor en la intersección de unas esferas con centro en el satélite y radio igual a la distancia correspondiente.

La pseudodistancia es el resultado de multiplicar la velocidad de la luz (c) por el desplazamiento temporal necesario para alinear una réplica del código GPS, generado por el receptor, con la señal procedente del satélite, así, la magnitud observada será por lo tanto un tiempo.

Para sincronizar la réplica con el original recibido, el receptor comienza a aplicar un retardo y cuando ambas señales coinciden el tiempo de retardo t permiten calcular una distancia, que no será precisamente la distancia receptor-satélite porque no se conoce el estado del reloj del receptor (adelanto o retraso con respecto al reloj del satélite) y por lo tanto lo que se obtiene es una falsa distancia o *pseudodistancia*.

$$\text{Distancia} = c \times (t + \text{estado})$$

De acuerdo con lo anterior, se requiere para el posicionamiento tridimensional el empleo de 4 satélites, ya que se tienen 4 incógnitas: X, Y, Z, Δt

Conceptualmente, el estado del reloj se resuelve, consideremos en la Fig 7.11 la antena del receptor situada en el centro de una pequeña esfera, tangente a todas las sucesivas esferas con centro en cada posición instantánea del satélite y radio la correspondiente pseudodistancia observada. La mencionada pequeña esfera con centro en la antena, tiene como radio el correspondiente al estado del reloj del receptor Δt por la velocidad de la luz C .

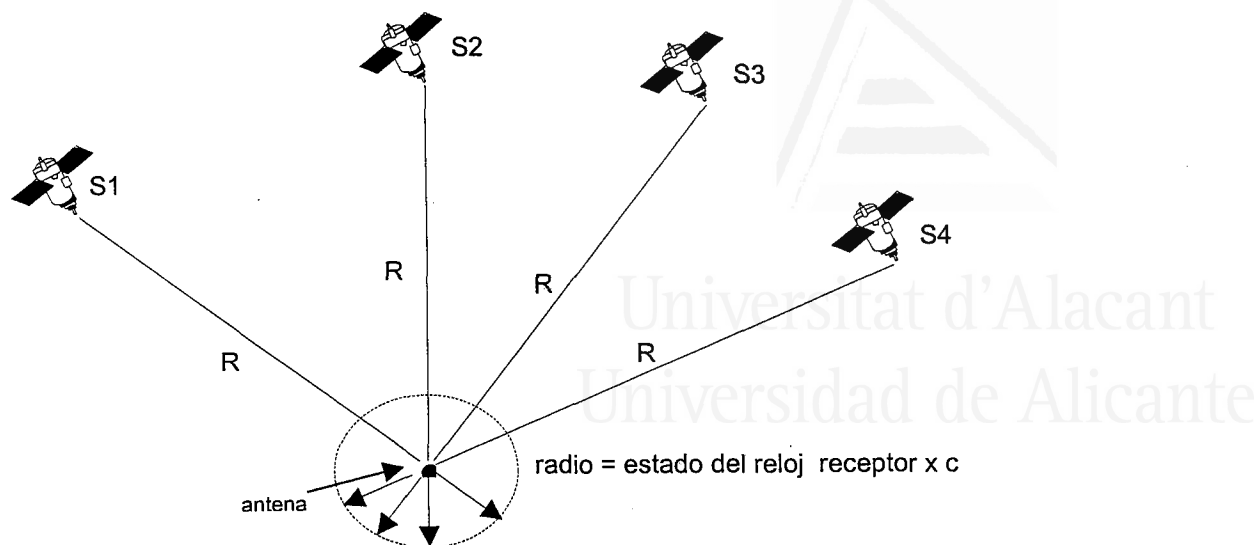


Figura 2.11 Esquema de la medición por pseudodistancias. (Fuente: Rodríguez Miranda, 2000, pp. 14)

Para usos geodésicos, la medida por pseudodistancias se emplea en el posicionamiento aproximado, previo a la observación por medida de fase.

2.3.9 Medida de fase

Este método es el que permite obtener la máxima precisión. La exactitud del método reside en el control en fase de una emisión radioeléctrica hecha desde el satélite, con frecuencia conocida, desde una posición conocida. El control de la fase consiste en observar continuamente la evolución del desfase entre la señal recibida y la generada en el receptor, el observable es el *desfase*, y este cambia según lo hace la distancia satélite-receptor.

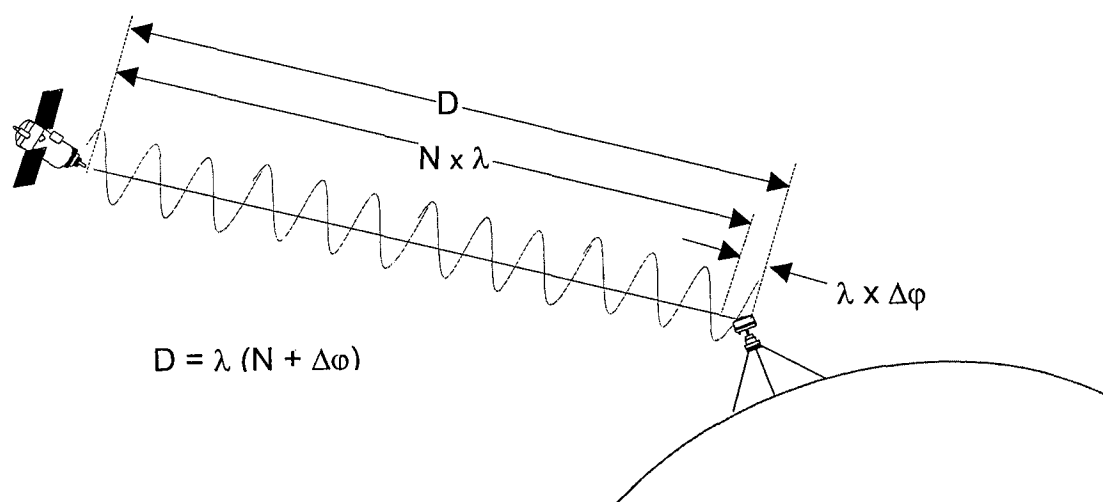


Figura 2.12 Esquema de la medición de distancias por medida de fase. (Fuente Rodríguez Miranda, 2000. pp 15)

De la observación de la Fig. 2.12 puede apreciarse que cuando la onda portadora llega a la antena habrá recorrido una distancia D , correspondiente a un cierto número N de longitudes de onda, más una cierta parte de longitud de onda llamada $\Delta\phi$, de manera que:

$$D = \lambda (N + \Delta\phi)$$

El valor observable $\Delta\phi$ puede estar entre 0° y 360° . Cuando $\Delta\phi$ va creciendo y llega a 360° , el valor de N se incrementa en una unidad y el $\Delta\phi$, pasa a 0° ; así, cuando $\Delta\phi$ decrece, sucede lo contrario.

Si se considera que la longitud de onda de $L1$ es 20 cm. y que $\Delta\phi$ puede apreciarse con precisión del orden de 1%, la resolución interna es del orden milimétrico.

Ahora bien, existe un valor desconocido al que se denomina *ambigüedad* y que corresponde con el número de longitudes de onda completas N , problema idéntico al que se presenta en la distanciometría electrónica por medición de fase, pero como no es posible modificar la frecuencia sobre la que medimos la fase, no es posible resolver la *ambigüedad*, como se hace en la distanciometría electrónica. La resolución de ésta se hace en el proceso de cálculo, junto con las otras incógnitas que tenemos que son los incrementos de coordenadas ΔX , ΔY , ΔZ y el estado de los relojes.

Cuando se aplica el Posicionamiento Relativo, que es el empleado normalmente en Geodesia y Topografía, puede considerarse que:

- El tratamiento de las ecuaciones generadas en la común recepción instantánea de un mismo satélite, se llama *Método de Simples Diferencias*, y minimiza o elimina errores de reloj del satélite.
- Las ecuaciones correspondientes en la común recepción instantánea de dos satélites, se llaman *Dobles Diferencias*, permite eliminar los "cycles slips", y minimiza o elimina los errores de reloj del satélite y de receptores,

indeterminación de las órbitas y otras fuentes de error, porque al ser estos errores similares, cuando son algebraicamente restados tienden a cancelarse.

- Si el tratamiento se hace con la recepción simultánea de dos satélites, en una posición y luego en otra, el método se llama de *Triples Diferencias*, lo que permite eliminar los errores, al igual que en el método de *Dobles Diferencias*, pero se cancela la ambigüedad de los ciclos.

2.3.10 Bondad de las observaciones

En las mediciones GPS existen dos formas de cuantificar la bondad de las observaciones: el **UERE** y el **DOP** dependiente de la **Configuración Geométrica** de los satélites observables respecto a la antena receptora.

2.1.3.10.1 UERE

El UERE (**User Equivalence Range Error**) es la contribución al error en la medida de la distancia producida por una sola fuente de error suponiéndola independiente de las demás. Las fuentes independientes son:

- incertidumbre de las efemérides,
- errores de propagación,
- marcha y estado de los relojes
- ruido de recepción.

2.1.3.10.2 Configuración

La configuración espacial de los satélites, con lo que se determina la posición del punto, es un factor determinante en la precisión alcanzada. Para tener una idea de cual es la configuración más favorable considérese el siguiente símil:

Supongamos una esfera de radio unitario con centro en el radioeléctrico de la antena. Las direcciones a los satélites observados determinan unos puntos de intersección con esta esfera. La superficie envolvente de estos puntos tridimensionales determina un poliedro cuyo volumen es proporcional a la bondad de la geometría. (Leick, 1990)

En el caso de 4 satélites, la geometría más favorable será uno en el cenit y los otros cuatro distribuidos acimutalmente a 120° , pero no en el horizonte, como podría suponerse para obtener el máximo volumen, sino a una altura del orden de los 10° , ya que cuando los satélites están muy cerca del horizonte se produce un efecto negativo, producto de la gran refracción atmosférica (iono + tropo), por lo que se recomienda ángulos de elevación mínima, denominándose a ese valor máscara, y empleándose generalmente el valor de 5° a 10°

Pero debe considerarse, además, que la geometría de la constelación visible puede ser buena para un fin y mala para otros, depende del cometido de la misión. Trabajando con 4 satélites, si se suponen cercanos al cenit, la precisión planimétrica será mala, pero buena la altimétrica, el elipsoide de error sería como un "huevo frito" horizontal.

Inversamente, si se tienen los 4 satélites cerca del horizonte (altura $\approx 5^\circ$ ó 10°) y uniformemente distribuidos en acimut, el error en planimetría sería pequeño, pero habría una fuerte indeterminación en altimetría y el elipsoide de error sería como un "pepino" vertical.

2.3.10.3 DOP

La DOP (**D**ilution **O**f **P**recision) es un valor adimensional que refleja la pérdida de precisión debido a la configuración espacial de los satélites que intervienen en el posicionamiento del punto.

Puede considerarse que la DOP es el factor por el que hay que multiplicar la precisión obtenida en la determinación de las distancias a los satélites, por lo que su valor ideal es 1. Durante las mediciones se debe fijar el límite del DOP, siendo 6 el valor usualmente empleado.

Se definen 5 valores básicos del DOP:

- GDOP : para las tres coordenadas (X,Y,Z) y el estado del reloj,
- PDOP : para las tres coordenadas (X,Y,Z),
- HDOP : para las coordenadas planas (X,Y),



- VDOP : para la altura Z,
- TDOP : para el estado del reloj.

2.3.11 Métodos de posicionamiento

Los métodos de posicionamiento se dividen: (Welles , D., et al, 1987)

- ◆ Según el sistema de referencia.
- ◆ Según el movimiento del receptor.

2.3.11.1 Según el sistema de referencia

– *Absoluto*

Se obtienen las tres coordenadas cartesianas geocéntricas (X,Y,Z) en el sistema WGS-84 (**World Geoedetic System 1984**) de la antena del receptor GPS

– *Relativo o Diferencial*

Se requieren, al menos, dos receptores captando los mismos satélites y se obtienen los incrementos de coordenadas (ΔX , ΔY , ΔZ) en el sistema cartesiano geodésico mundial WGS-84. De los dos receptores, uno es el que establece el origen del sistema local de referencia GPS.

La principal ventaja del posicionamiento relativo es que como los errores de observación son muy similares, los incrementos de coordenadas se obtienen con gran precisión, resultando de hecho el procedimiento mas preciso, en especial, cuando se emplea el método de medida de fase.

2.3.11.2 Según el movimiento del receptor

– *Estático*

En el posicionamiento estático se determinan las tres coordenadas de la antena a partir de una serie de observaciones realizadas durante un lapso de tiempo en el que no sufren desplazamientos superiores a la precisión del sistema.

En el posicionamiento estático se obtienen soluciones tan redundantes como se desee, con solo aumentar el tiempo de observación. Las precisiones obtenidas son muy altas, en especial si se emplea la modalidad relativa.

– Dinámico

En el posicionamiento dinámico se determinan tríos de coordenadas según varía el tiempo y la situación de la antena que experimenta movimientos superiores a la precisión del sistema. Cada trío de coordenadas se obtiene sin redundancia a partir de una muestra única de datos.

Esta es la aplicación típica de la navegación, que puede ser de baja dinámica, como la de barcos, o de alta dinámica como la de aviones y misiles.

2.3.11.3 Combinaciones de los métodos básicos de posicionamiento

Los métodos básicos descritos anteriormente pueden combinarse :tal como se muestra en la siguiente tabla: 2.2

Método	Med.	Resultados	Tiempo	Aplicaciones
Estático Absoluto	Pseudo-distancias	X, Y, Z	Real	Determinar la posición aprox. en 2 ó 3 minutos (si se dispone de un almanaque en la memoria del receptor) Error $\approx \pm 10\text{m}$.
	Pseudo-distancias	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Diferido	Determinar posición relativa en trabajos de poca precisión de Topografía. Error $\approx \pm 1\text{m}$.
	Medida de fase	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$		En los trabajos mas precisos de Topografía y Geodesia.
Estático Relativo	a) Estandar *		Diferido	Observ. durante un período que mientras mayor permite aumentar la precisión. Error $\approx \pm 0.005\text{ m.} - 0.025\text{ m}$
			Diferido	

	b) Pseudo cinemático			Observ. durante 5 min. una hora de receso y 5 min mas de observ.
	c) Rápido		Diferido	Requiere receptores de doble frecuencia.
	d) Cinemático		Diferido	Semejante al estandar pero requiere de menos tiempo para alcanzar la misma precisión.
	Medida de fase (Cinemático RTK)	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Real	Requiere dos receptores enlazados mediante un radio-modem. Error $\approx \pm 0.02$ m
Dinámico Absoluto	Pseudodistancia	X; Y, Z	Real	Navegación marítima o aérea Error $\approx \pm 1$ m.
	Pseudodistancia	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Real	Navegación marítima o aérea Error $\approx \pm 0.25$ m. – 3 m.
Dinámica o Relativa	Medida de fase	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Diferido	Navegación marítima o aérea Error $\approx \pm 0.25$ m.

Tabla 2.2 Combinaciones de los métodos de posicionamiento con GPS. (Fuente Rodríguez Miranda; 2000, pp. 20).

2.3.12 Método Cinemático en Tiempo Real (RTK)

El método RTK es uno de los últimos métodos incluidos en el grupo de técnicas GPS y resulta de aplicación en todos aquellos casos en que se requiera un precisión elevada (mm-dm) en tiempo real.

Para la determinación de la posición mediante un receptor, las mediciones de la fase de la portadora son combinadas con las realizadas simultáneamente por otro receptor, para formar dobles diferencias en las que los errores del receptor y del satélite son eliminados.

Componentes del método RTK :

- 2 receptores GPS de frecuencia sencilla o doble con sus antenas respectivas,

- 2 radios de comunicación con sus antenas respectivas para la transmisión de la información entre receptores,

Uno de los receptores (al que se denomina fijo o *reference*) se estaciona en un punto de coordenadas conocidas y permanece fijo en ese punto, mientras el otro receptor (al que se denomina móvil o *rover*) se va colocando sucesivamente en todos los puntos cuya posición se quiere conocer, tal como indica la Fig. 2.13

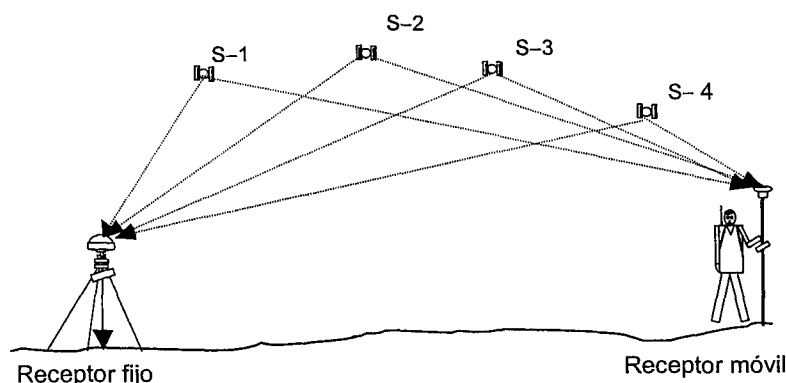


Figura 2.13: Esquema de la posición del receptor móvil y del fijo en el método RTK. (Fuente Rodríguez Miranda, 2000, pp 21)

La aplicación exitosa del método RTK depende de la posibilidad del radio enlace de los dos receptores, las señales pueden bloquearse debido a la interferencia de otros usuarios del espectro de radio cerca de la frecuencia de enlace, esta interferencia puede ser indicada mediante señales luminosas en la estación remota cuando la de referencia no está transmitiendo adecuadamente.

Aunque el proceso de las mediciones realizadas puede ser realizado posteriormente en una computadora (corrección diferencial en post-proceso), varios fabricantes han programado sus receptores para producir soluciones RTK internamente (tiempo real). En el caso de España, la emisora estatal de Radio Nacional utiliza sus antenas de emisión, de cobertura total en territorio español y localización conocida con exactitud, para ofrecer una emisión conocida como sistema RASANT, lo que permite desde cualquier receptor móvil utilizar este servicio para realizar las funciones de corrección diferencial en tiempo real.

Cuando se lleva a cabo una solución por doble diferencia, los tiempos de ambos receptores deben corresponder, sucediendo que los datos calculados en el receptor fijo llegan a la remota con una demora a la que se denomina *estado latente*, que depende de la velocidad de transmisión de los datos, determinada en milisegundos.

2.3.13 Posición geodésica de un punto. Coordenadas geodésicas elipsoidales

En Geodesia, la posición de un punto sobre la superficie del elipsoide está caracterizado por sus coordenadas (φ, λ) . Ahora bien si el punto P no se encuentra sobre la superficie del elipsoide, ver Fig. 2.14, debe tenerse en cuenta, además, la altura h del punto medida sobre la normal al elipsoide entre el punto y la superficie de este.

En resumen las coordenadas geodésicas de un punto P son:

φ : latitud geodésica, ángulo entre el plano ecuatorial y la normal al geoide, por el punto P, medida a partir del Ecuador hacia el norte o hacia el sur de 0° a 90° .

λ : longitud geodésica, ángulo entre un meridiano de referencia y el meridiano que contiene a la normal al elipsoide por el punto P, medida desde el meridiano de referencia hacia el este o el oeste de 0° a 180°

h : altura geodésica, distancia entre el punto y la superficie del elipsoide, medida sobre la normal al elipsoide por el punto P.

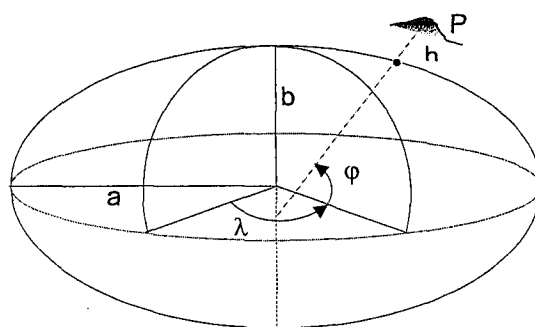


Figura 2.14 Sistema de coordenadas geodésicas de un punto P (φ, λ, h) .
(Fuente Rodríguez Miranda, 2000, pp 22)

2.3.14 Sistema Geodésico Mundial WGS-84

Desde 1987 el Sistema de Posicionamiento Global, GPS utiliza como sistema de referencia el llamado **World Geodetic System 1984 (WGS-84)**, que no es más el Sistema Cartesiano Global al cual está asociado un elipsoide de revolución definido por los parámetros que se muestran en la Tabla 2.4.

El sistema WGS-84 fue definido a partir de diferentes datos u observaciones, tales como anomalías de la gravedad, desviación de la vertical, observaciones a los satélites de la constelación TRANSIT por técnicas Doppler, observaciones a satélites SLR, observaciones VLBI y otras.

La posición de un punto P en el sistema WGS-84 puede expresarse por sus coordenadas cartesianas (X,Y,Z) o por sus coordenadas elipsoidales (φ , λ , h).

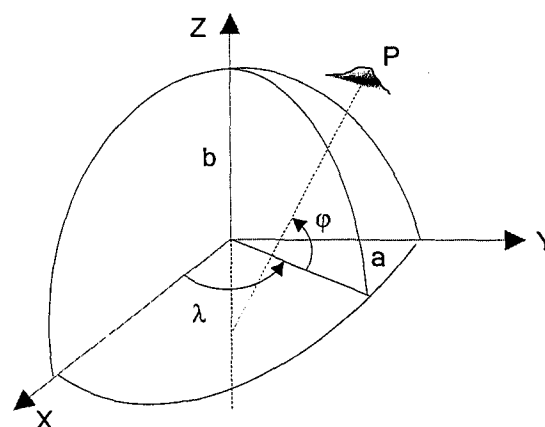


Figura 2.15 Sistema de coordenadas del WGS-84.
(Fuente Rodríguez Miranda, 2000, pp 22)

Parámetros y valores	Explicación
$a = 6\,378\,137$	Semi Eje Mayor del elipsoide
$f = 0.003\,352\,810\,664\,74$	Achatamiento del elipsoide
$\omega = 7\,292\,115 \cdot 10^{-11}$ rad/seg	Velocidad angular de la Tierra
$\mu = 3\,986\,005 \cdot 10^8$ m/seg ²	Constante Gravitacional de la Tierra

Tabla 2.3 Parámetros de elipsoide WGS-84 (Fuente: Rodríguez Miranda, W. 2000)

En el sistema WGS-84 están determinadas las posiciones de los satélites de la constelación NAVSTAR y por lo tanto, respecto a este sistema calculan los receptores inicialmente la posición (absoluta o relativa) del punto deseado (el centro radioeléctrico de la antena receptora colocada sobre el punto).

2.3.15 Relación entre los sistemas de coordenadas WGS-84

Considerando que el eje Z del sistema cartesiano coincide con el eje de revolución del elipsoide, es posible transformar las coordenadas elipsoidales (φ , λ , h) a cartesianas (X,Y,Z) empleando las expresiones siguientes:

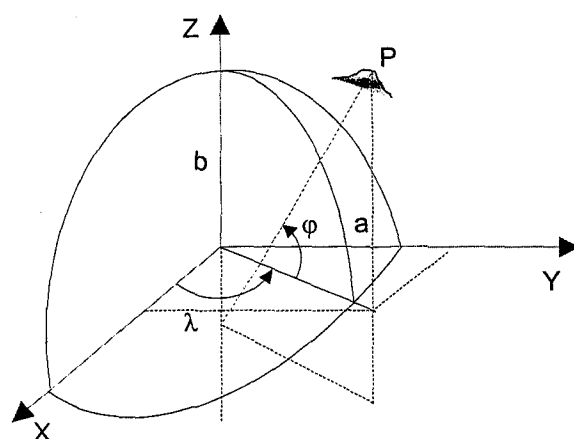


Figura 2.16 Sistema de coordenadas del WGS-84
(Fuente Rodríguez Miranda, 2000, pp 23)

$$X = (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \quad (1)$$

$$Y = (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \quad (2)$$

$$Z = [N(1 + e^2) + h] \sin \varphi \quad (3)$$

El problema inverso, o sea, la transformación de coordenadas cartesianas (X,Y,Z) a elipsoidales (φ , λ , h) se resuelve mediante un proceso iterativo empleando expresiones deducidas a partir de las anteriores:

$$\varphi = \text{Arc tg} \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(1 - e^2 \frac{N}{N+h} \right)^{-1} \quad (4)$$

$$\lambda = \text{Arc tg} \frac{Y}{X} \quad (5)$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\text{Cos } \varphi} - N \quad (6)$$

donde N es él la longitud de la normal, o sea, el radio de curvatura del vertical primario por el punto P, y está dada por:

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \text{Sen}^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

y e^2 es el cuadrado de la excentricidad dado por :

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (8)$$

El carácter iterativo de la solución está dado por el hecho de que el valor de la normal N es función de la latitud φ que se calcula. Para la primera iteración se considera en (5) que :

$$N + h = N \quad (9)$$

obteniéndose la expresión simplificada (11) para la primera iteración:

$$\varphi = \text{Arc tg} \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad (10)$$

Una vez calculado el primer valor de φ por (10) se procede a calcular la longitud de la normal N según (7) y se continua con las iteraciones hasta que la diferencia entre dos valores sucesivos de φ sea despreciable.

2.3.16 DATUM de las observaciones geodésicas

Se denomina DATUM al punto de partida, con los parámetros correspondientes, que sirve de referencia o base a otras cantidades.

Al conjunto de parámetros que definen el origen al cual está referida la posición horizontal de los puntos geodésicos se denomina **DATUM HORIZONTAL**, mientras que la altura estará referida al **DATUM VERTICAL**

Datum Horizontal: Esta determinado por un punto, en el cual se igualan los valores de las coordenadas elipsoidales astronómicas y geodésicas, y por una superficie matemática definida por un conjunto de parámetros. En nuestro país es el NAD-27 (North American Datum de 1927) asociado al esferoide Clarke 1866

Datum Vertical: Es el lugar (mareógrafo) que sirve de origen a las mediciones de altura, referidas a una superficie equipotencial conocida como Geoide, que coincide aproximadamente con el NMM (Nivel Medio del Mar). En nuestro país se toma como Datum el obtenido mediante la estación mareográfica de Siboney, situada en Ciudad de La Habana.

2.3.17 Obtención de las alturas ortométricas a partir de las mediciones GPS

El problema fundamental de la Geodesia y la Topografía, cuando se realizan mediciones con receptores GPS, es que del resultado de las mediciones se obtienen las alturas referidas a una superficie matemática definida como Elipsoide WGS-84, mientras que en los trabajos clásicos se obtienen las alturas referidas a una superficie física conocida como el Geoide (considerada prácticamente coincidente con el Nivel Medio del Mar (NMM))

Como se muestra en la Fig. 2.17, la altura ortométrica H (referida al geoide) y la altura elipsoidal h (referida al elipsoide WGS-84) están relacionadas mediante el valor de N al que se denomina ondulación del geoide.

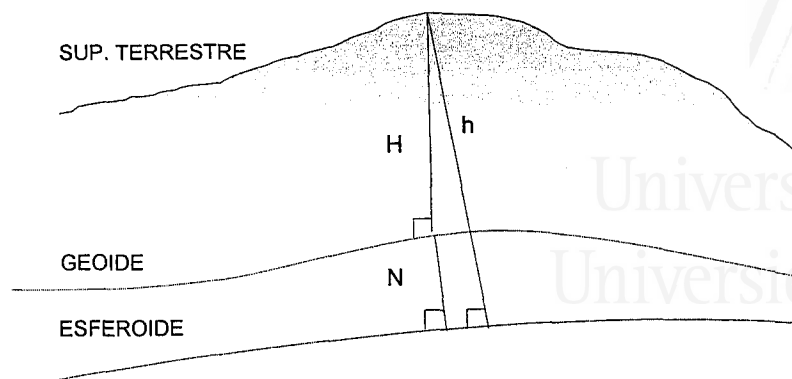


Figura 2.17 Alturas ortométricas y elipsoidales.

$$h = H + N$$

y por lo tanto: $H = h - N$

Si se desea conocer la altura ortométrica H de un punto en el cual se han realizado mediciones GPS y en el que, por lo tanto, se conoce su altura elipsoidal h , habrá que determinar la separación entre el geoide y el esferoide, o sea, la ondulación del geoide N .

Los principales métodos para conocer la ondulación del geoide son:

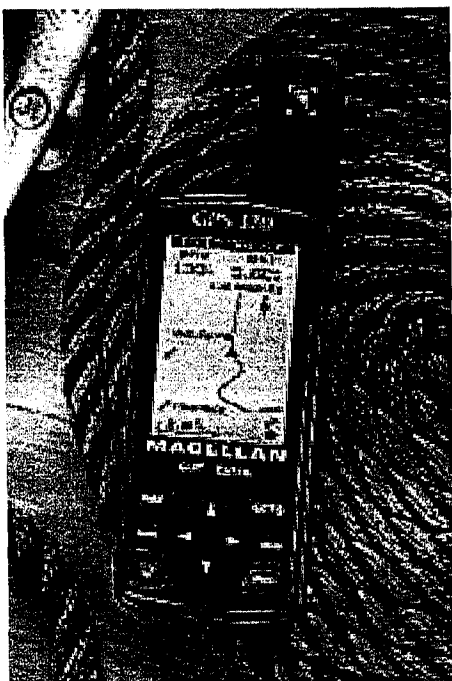
- Mediante el empleo de los llamados Modelos Matemáticos de Ondulaciones
- Mediante el empleo de Superficies Locales.
- Mediante el empleo Algoritmos de Interpolación de Isolíneas.

Los *Modelos Matemáticos de Ondulaciones* están basados en la utilización de datos de observaciones a satélites, observaciones astronómicas y de desviaciones de la vertical. Entre los Modelos mas conocidos se encuentra el llamado OSU-91A, elaborado en la Universidad Estatal de Ohio, en Estados Unidos, mediante el empleo de Armónicos Esféricos de grado y orden 360 que requiere del concurso de potentes computadoras para elaborar los cálculos complejos, necesarios para su obtención y que están referidos elipsoide WGS-84

El empleo de *Superficies Locales* requiere que se ejecuten mediciones GPS sobre puntos cuya altura ortométrica sea conocida, de manera que en los mismos pueda determinarse la ondulación del geode N y que una superficie matemática de interpolación que represente a dichas ondulaciones, dentro del área de trabajo (Superficie Local)

El empleo de *Algoritmos de Interpolación de Isolíneas* permite representar gráficamente las isolíneas de las ondulaciones con diferentes equidistancias. Entre los algoritmos de interpolación uno de los mas conocidos es el *SURFER*, de gran aplicación en la representación del relieve y que puede ser utilizado satisfactoriamente en la representación de las ondulaciones.

Después de una apretada y necesaria síntesis explicativa de los aspectos tanto técnicos como físicos a tratar sobre el funcionamiento de los GPSS, resaltaremos que en nuestro trabajo, las mediciones de los puntos sobre el terreno se realizaron con un GPS del modelo comercial "MAGELLAN 320":



- Potente receptor de 12 canales paralelos con antena *cuadrifilar* para un rastreo superior
- Base de datos interna y elementos de navegación
- SmartTrack de 1200 puntos para registrar el recorrido hecho que mientras el *BackTrack* le ofrece la ruta de regreso
- El mejor calculador de los momentos óptimos de trabajo y un cuenkilómetros (millas) con puesta a cero
- Guarda 500 *waypoints*, 20 rutas reversibles con 30 tramos
- Hasta 15 horas de duración de pilas con uso continuo. 2 pilas AA alcalinas con una pila de litio de 10 años de duración
- Salida de datos en protocolo NMEA y preparado para corrección diferencial
- Posibilidad de carga y descarga de datos de Puntos de Interés (POI) por medio del CD *DataSend* o de uso con otro *software* de cartas para PC compatible

2.4 Valoración de los avances de la Fotogrametría Digital

Fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología de la obtención de la información adecuada acerca de objetos físicos y del ambiente, a través de los procesos de grabar, medir e interpretar imágenes fotográficas de la superficie terrestre o de otros cuerpos celestes.

Un uso convencional de la fotogrametría ha sido la compilación de mapas topográficos y levantamientos completos, a través de curvas de nivel, basados en mediciones e informaciones obtenidas de fotografías aéreas y espaciales con instrumentos análogos ópticos y/o con computación analítica. Estos mismos principios topográficos de precisión de mediciones se aplican en fotogrametría a escalas muy grandes, para medir objetos que de otra manera son difíciles de estudiar.

La fotogrametría analítica y digital ha revolucionado la esfera de la fotogrametría, sometiénndose a una profunda transformación tecnológica. Los instrumentos fotogramétricos tradicionales empleados en la compilación de los mapas (restituidores analógicos) están siendo sustituidos por los sistemas analíticos y digitales, basados en ordenadores y *software* específico. La edad de oro de los aparatos de restitución analógica duró hasta principios de los años noventa, hasta que la nueva generación de equipos controlados por ordenadores y apoyados en la teoría de la fotogrametría analítica lograron ser confiables y de un costo relativamente bajo, al alcance de cualquier institución. Las ventajas que suponen las nuevas tecnologías fotogramétricas analíticas pueden resumirse en (Ricardo Alvarez Portal, Manual Práctico de Fotogrametría, 1996. Edición especial de la Universidad Autónoma Metropolitana de Iztapalapa, México D.F.):

- Resuelven la proyección cartográfica de forma analítica.
- Mejoran notablemente los problemas de la orientación relativa y absoluta, con una disminución del tiempo de ejecución.
- Las coordenadas obtenidas para cada punto son numéricas .

- Elevan la productividad del trabajo y mejoran las condiciones de trabajo de los operadores.

Sin embargo, los restituidores analíticos aun presentan algunas limitaciones que tenían los analógicos:

- La identificación de los puntos la sigue haciendo el operador.
- El ordenador no tiene acceso a la información que contienen los fotogramas.
- El producto obtenido es básicamente el mismo que el analógico.

A finales de la pasada década y al inicio de la actual, comienzan a aparecer en el mercado los equipos fotogramétricos digitales. Las tendencias en el desarrollo de estos instrumentos son diversas. Actualmente, el avance tecnológico ha permitido obtener la visión estereoscópica sobre el monitor de un microordenador. La observación estereoscópica se logra por diferentes métodos (mediante un sistema de lentes y espejos, con gafas de anaglifos, polaroides, infrarrojo, etc.). En general, las ventajas que ofrecen los equipos fotogramétricos digitales según Ricardo Alvarez Portal, 1996, son:

- Se pueden procesar imágenes tomadas con diferentes sensores remotos: fotogramas reticulados ortogonalmente (*pixels*), cintas de satélites, así como imágenes digitales de cualquier fuente (sensor remoto)
- Mecanismos de visión estereoscópica de las imágenes digitalizadas a través del monitor. Además de las variantes señaladas, se ofrece la posibilidad de utilizar un monitor que actúa a tiempo compartido, mostrando durante una fracción de segundo, del orden de 1/ 120, la imagen correspondiente a un ojo y, durante la misma fracción de tiempo, la imagen del otro ojo.
- Realizan la restitución tradicional y asistida con guiado automático en el eje Z.
- Orientación interior de cada fotograma de forma automática, al igual que la orientación relativa del par y la orientación absoluta del modelo tridimensional.
- Restitución automática de curvas de nivel.
- Generación de modelos digitales del terreno (**MDT**) por correlación de imágenes.
- Generan ortofotos de forma automática.

- Generan perspectivas fotográficas tridimensionales por las que se puede navegar, resultando de gran interés para distintos estudios.
- Otras posibilidades técnicas.

La fotogrametría digital se utiliza ampliamente en la cartografía temática. Sus posibilidades actuales permiten la captura de datos de gran interés sobre los territorios estudiados, de forma rápida y exacta. Sus productos, en soporte analógico o digital, se emplean con éxito tanto en la captura de información como en el proceso cartográfico.

La utilización de la Fotogrametría Digital en el contexto de la tesis ha estado presente en las posibilidades que brindan, en este sentido, los programas de tratamiento de imágenes, fundamentalmente en la planimetría, ya que la autora no tuvo acceso a los programas profesionales de fotogrametría digital. (Teng, W. L. 1990)

2.5 Tecnologías y Métodos para el proceso de la georreferenciación y las salidas cartográficas

Lograr que todos los resultados sean obtenidos a partir de salidas cartográficas especiales, es la máxima aspiración que se puede lograr si existen las condiciones adecuadas para ello, aunque ya el hecho de que estén logradas en soporte digital es un avance, si constituye un material de consulta para los fines trazados al realizar el trabajo, es por ello que en los próximos epígrafes se describirán algunos procesos para la consecución de dicho objetivo.

2.5.1 Proceso Digital de Imágenes

El análisis digital de datos, más específicamente, de imágenes digitales de percepción remota mediante satélite permitió, en los últimos veinticinco años, un gran desarrollo de las técnicas orientadas al análisis de datos multidimensionales,

adquiridos por diversos tipos de sondas. Estas técnicas han recibido el nombre de **proceso digital de imágenes**.

Como se señaló más arriba, el objetivo de utilizar el proceso digital de imágenes, es mejorar el aspecto visual de ciertos elementos estructurales para el analista y proveer otros subsidios para su interpretación, inclusive generando productos que puedan ser posteriormente sometidos a otros procesos.

El área de proceso digital de imágenes ha generado un gran interés en las dos últimas décadas. La evolución de la tecnología de computación, bien como el desarrollo de nuevos algoritmos para tratar señales bidimensionales, está permitiendo una gama de aplicaciones cada vez mayor.

Como resultado de esa evolución, la tecnología de proceso digital de imágenes está ampliando sus dominios, que incluyen las más diversas áreas, como por ejemplo: análisis de recursos naturales y meteorología por medio de imágenes de satélites; transmisión digital de señales de televisión o facsímil; análisis de imágenes biomédicas, incluyendo el conteo automático de células y examen de cromosomas; análisis de imágenes metalográficas y de fibras vegetales; obtención de imágenes médicas por ultrasonido, radiación nuclear o técnicas de tomografía computarizada; aplicaciones en automatización industrial envolviendo el uso de sondas visuales en robots, entre otras.

El uso de imágenes multiespectrales captadas por satélites tales como, **Landsat**, **SPOT**, **ERS-2**, **NOAA**, **IKONOS** o similares, se ha mostrado como una valiosa herramienta para la extracción de los datos destinados a diferentes aplicaciones de investigación de recursos naturales, así como para otros fines.

Las técnicas de proceso digital de imágenes (PDI), además de permitir analizar una escena en diferentes regiones del espectro electromagnético, también posibilitan la integración de varios tipos de datos, debidamente registrados.

El proceso digital de imágenes puede ser dividido en tres etapas independientes: **preproceso, realce y clasificación**. El preproceso se refiere al proceso inicial de los datos brutos para la calibración radiométrica de la imagen, la corrección de distorsiones geométricas y la eliminación de ruido. Las técnicas de realce más comunes en PDI son: realce de contraste, filtraje, operación aritmética, transformación IHS y componentes principales. En lo que se refiere a las técnicas de clasificación, estas pueden ser divididas en: clasificación supervisada (por pixel) y clasificación no supervisada (por regiones).

Por **Proceso Digital de Imágenes** se entiende la manipulación de una imagen a través de un computador, de modo que la entrada y la salida den como resultado imágenes. Para comparar, en la disciplina de reconocimiento de patrones, la entrada del proceso es una imagen y la salida consiste en una clasificación o una descripción de la misma. Por otro lado, la elaboración de gráficos por computador envuelve la creación de imágenes a partir de descripciones de las mismas.

Las técnicas de PDI son aplicadas siempre con los **niveles de gris (NG)** atribuidos a los *pixels* (teselas ortogonales) de una imagen. Dependiendo de la técnica utilizada el usuario trabajará con una única imagen (banda o PI) o con varias imágenes, siendo esta última conocida como técnica multiespectral, por tratarse de varias imágenes de la misma escena en regiones diferentes del espectro electromagnético.

Técnicas de Proceso Digital de Imágenes

- **Contraste de Imagen**
- **Lectura de Píxeles**
- **Filtraje Espacial**
- **Operaciones Aritméticas**
- **Transformación IHS-RGB**
- **Componentes Principales**
- **Modelo de Mezcla**
- **Segmentación de Imagen**
- **Clasificación de Imagen**
- **Estadística de Imágenes**

- **Restauración de Imágenes de Satélite**
- **Eliminación de Ruido**
- **Registro de Imágenes**

Realce de Contraste

La técnica de realce de contraste tiene como objetivo mejorar la calidad de las imágenes bajo los criterios subjetivos del ojo humano. Normalmente, esta técnica es utilizada como una etapa de preproceso para sistemas de reconocimiento de patrones.

El **contraste** entre dos objetos puede ser definido como la razón entre sus niveles de gris medios.

La manipulación de contraste consiste en una transferencia radiométrica en cada "**pixel**", con el objetivo de aumentar la discriminación visual entre los objetos presentes en la imagen. La operación es realizada punto a punto, independientemente de la vecindad.

Para visualizar un Nivel de Gris - Lectura de Píxeles

La lectura de píxel permite saber cual es el valor del nivel de gris de un determinado píxel y de sus vecinos. Esta función no produce ni permite ninguna alteración en la imagen original.

El análisis del nivel de gris de una banda es útil para trabajos que involucren estudios de comportamiento espectral de los albos, en las diferentes bandas de los satélites de percepción remota.

Filtraje Espacial

Las técnicas de filtraje son transformaciones de la imagen "**pixel**" a "**pixel**", que no dependen solamente del nivel de gris de un determinado "**pixel**", sino también del valor de los niveles de gris de los "**pixels**" **vecinos**, en la imagen original.

El proceso de filtraje es realizado utilizando matrices denominadas **máscaras**, las cuales son aplicadas sobre la imagen.

Operaciones Aritméticas

Para operaciones entre bandas, en proceso de imágenes, en algunos programas se ofrece las opciones de **suma**, **substracción**, **división (o razón entre bandas)** y la **multiplicación** de una banda por una constante (realce lineal).

En estas operaciones, se utiliza una o dos bandas de una misma área geográfica, previamente georreferenciada. Se realiza la operación "**pixel**" a "**pixel**", a través de una regla matemática definida, obteniendo como resultado una banda que representa la combinación de las bandas originales.

Transformación IHS

Para describir las propiedades de color de un objeto, en una imagen, normalmente el ojo humano no distingue la proporción de azul, verde y rojo presentes y sí evalúa la intensidad (I), el color o matiz (H) y la saturación (S).

La **intensidad** o brillo es la medida de energía total en todos las longitudes de onda, siendo por lo tanto la responsable por la sensación de brillo de esa energía incidente sobre el ojo.

El **matiz** o color de un objeto es la medida de la longitud de onda medio de la luz que se refleja o se emite, definiendo, el color del objeto.

La **saturación** o pureza expresa el intervalo de longitud de onda alrededor de la longitud de onda media, en el cual la energía es reflejada o transmitida. Un alto valor de saturación resulta en un color espectralmente puro, en tanto que un bajo valor indica una mezcla de longitudes de onda que irá a producir tonos pasteles (apagados).

Transformación por Componentes Principales

Frecuentemente, se observa que las bandas individuales de una imagen multiespectral son altamente correlacionadas, o sea, las bandas son similares visual y numéricamente.

Esta correlación proviene del efecto de las sombras resultantes de la topografía, de la superposición de las ventanas espectrales entre bandas adyacentes y del propio comportamiento espectral de los objetos.

La transformación por **componentes principales** es una técnica de realce que reduce o remueve esta redundancia espectral, o sea, genera un nuevo conjunto de imágenes cuyas bandas individuales presentan informaciones no disponibles en otras bandas.

Modelo de Mezcla

Problemas de mezcla ocurren en imágenes de Percepción Remota debido a la resolución espacial de los sensores que, en general, permiten que un elemento de la escena (correspondiente a un píxel de la imagen) incluya más de un tipo de cobertura del terreno. Cuando un sensor observa la escena, la radianza detectada corresponde a la integración, denominada **mezcla**, de todos los objetos, denominados **componentes de la mezcla**, contenidos en el elemento de la escena.

En la literatura, se encuentran dos líneas de trabajos relacionadas al problema de mezcla:

- Sustituir métodos convencionales de clasificación de imágenes en el cálculo de área total por tema (clase) en una escena, considerando que las estimativas basadas en los métodos convencionales son perjudicadas por la mezcla de clases en las fronteras entre los diferentes albos (por ejemplo, la frontera entre pastos y cultivos).
- Generación de imágenes sintéticas, que representen las proporciones de cada componente de la mezcla dentro de los píxeles, es decir, el número de bandas originales es reducido para el número de componentes del modelo de mezcla. (Por ejemplo, en un área de reforestación, la generación de tres bandas sintéticas, una representando la proporción de vegetación, otra de suelo y la tercera de sombra en cada píxel de la imagen).

En algunos programas de proceso de imágenes, la herramienta de Modelo de Mezcla se inserta en esta segunda línea de trabajo. Las próximas secciones presentan los fundamentos teóricos necesarios para utilizar adecuadamente los Modelos de Mezcla, además de ejemplos de aplicaciones para el área de bosques e instrucciones sobre la manipulación de la herramienta. Para mayores detalles, consultar Shimabukuro (1987).

Segmentación de Imágenes

La clasificación estadística es el procedimiento convencional de análisis digital de imágenes. Constituye un proceso de análisis de píxeles de forma aislada.

Este abordaje presenta la limitación de que el análisis puntual se base únicamente en atributos espectrales. Para superar estas limitaciones, se propone el uso de la segmentación de imágenes, como una fase previa a la fase de clasificación, donde se extraen los objetos relevantes para la aplicación deseada.

En este proceso, se divide la imagen en regiones que deben corresponder a las áreas de interés de la aplicación. Se entiende por regiones un conjunto de "pixels" contiguos, que se dispersan bidireccionalmente y que presentan uniformidad entre sí.

La división en porciones consiste básicamente en un proceso de crecimiento de regiones, de detección de bordes o de detección de cuencas.

Estadística de Imágenes Digitales

La función Análisis Estadístico de Muestras tiene como objetivo calcular y presentar los siguientes parámetros estadísticos, a partir de las imágenes previamente seleccionadas:

- Momentos.
- Mediana
- Matriz de Covarianza y Matriz de Correlación
- Matriz de Autocorrelación
- Matriz de Correlación Cruzada

Los resultados se presentan en la pantalla en forma de gráficos y texto.

Restauración

La restauración es una técnica de corrección radiométrica que tiene como objeto atenuar las distorsiones originadas por el sensor óptico en el proceso de generación de las imágenes digitales.

Se puede decir que la imagen digital es una copia poco nítida de la escena, ya que los detalles que pueden ser vistos en la escena son suavizados debido a las

limitaciones de resolución espacial del sensor. La idea de restaurar la imagen es reducir este efecto de falta de nitidez y obtener una imagen realzada.

La corrección es realizada a través de la aplicación de un filtro lineal. Los pesos del filtro de restauración son obtenidos a partir de las características del sensor, y no de forma empírica, como en el caso de los filtros de realce tradicionales. En este caso, el filtro es específico para cada tipo de sensor y banda espectral.

Se recomienda realizar este tipo de proceso sobre la imagen original sin ningún tipo de proceso tales como realce y filtraje, que alteren las características radiométricas de la imagen. Se debe observar también que no es posible procesar una imagen remuestreada, ya que las características radiométricas y espaciales de la imagen fueron alteradas. El resultado del proceso será guardado en disco.

Las figuras 2.18 y 2.19 muestran dos imágenes TM-5 (original con 30 metros y restaurada o fusionada con 10 metros).

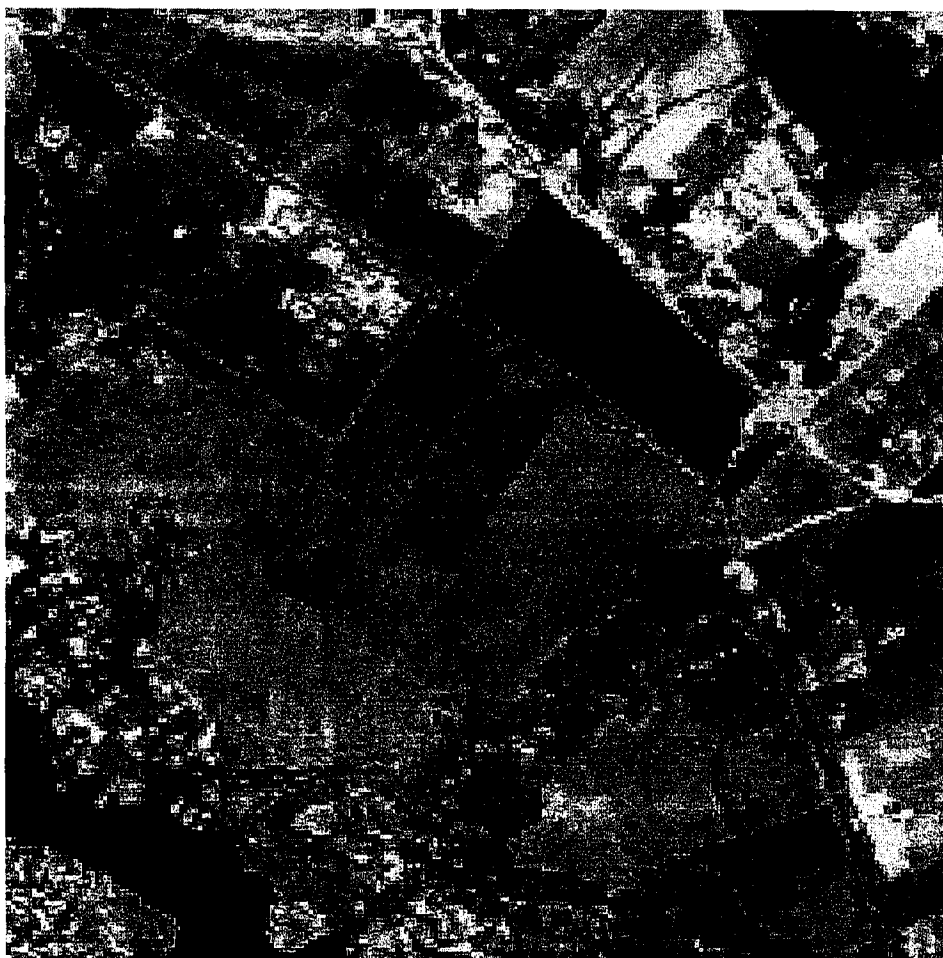


Figura 2.18: Imagen TM – 5 original con 30 metros. (Fuente Chuvieco, E. 1995)

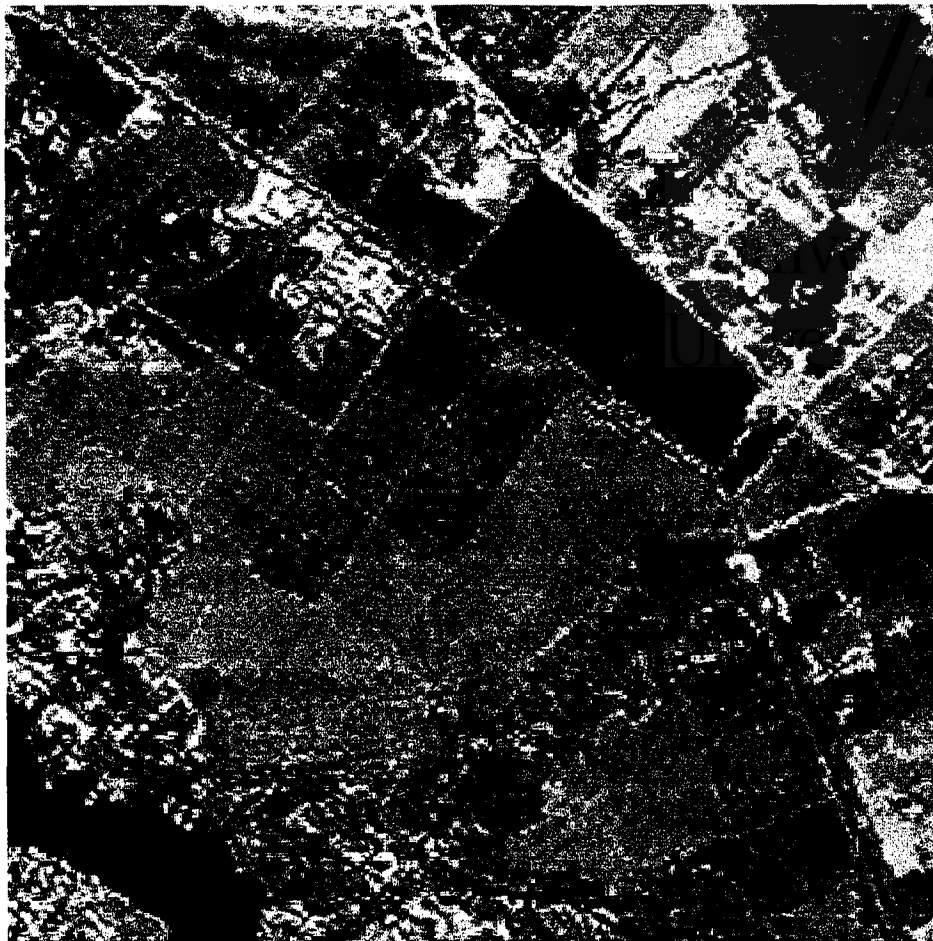


Figura 2.19: Imagen Tm – 5 restaurada con 10 metros (Fuente Chuvieco, E. 1995)

Eliminación de Ruido

En el proceso de generación de imágenes, algunos ruidos son introducidos en las imágenes. Generalmente, los píxeles con ruido aparecen como puntos con niveles de gris bien diferentes de su vecindad (oscuros -negros- o saturados -blancos-). Estos puntos pueden aparecer distribuidos aleatoriamente o en forma sistemática (fajas verticales y horizontales). Las causas de dicho ruido pueden ser fallas de los detectores, limitaciones del sistema electrónico del sensor, entre otros. (Chuvieco, E., 1996)

De esta manera, la función **Eliminación de ruido** tiene como objetivo eliminar o reducir los puntos de ruido en la imagen.

Registro de Imágenes

El **registro** de una imagen comprende una transformación geométrica que relaciona coordenadas de imagen (línea, columna) con coordenadas de un sistema de referencia. Este sistema de referencia es, en última instancia, el sistema de

coordenadas planas de una determinada proyección cartográfica. Como cualquier proyección cartográfica guarda un vínculo bien definido con un sistema de coordenadas geográficas, se puede decir entonces que el **registro** establece una relación entre coordenadas de imagen y coordenadas geográficas.

Otros términos comunes para la designación del procedimiento de registro son **geocodificación** y **georreferenciación**. Es importante hacer una distinción clara entre **registro** y **corrección geométrica**. El proceso de corrección geométrica de imágenes elimina las distorsiones geométricas sistemáticas introducidas en la etapa de formación de las imágenes, mientras que el registro utiliza transformaciones geométricas simples (usualmente transformaciones polinómicas de 1° y 2° grado) para establecer un mapeo entre coordenadas de la imagen y coordenadas geográficas.

El registro es una operación necesaria para hacer la integración de una imagen a la base de datos existente en un SIG. Hace muchos años, los proyectos en el área de percepción remota presuponían que las imágenes podían ser integradas a los datos extraídos de mapas existentes o a las medidas hechas directamente en el terreno. El registro también es importante para combinar imágenes de diferentes *sensores*, sobre una misma área o para realizar estudios multitemporales, en el caso que se utilicen imágenes tomadas en épocas distintas.

2.5.2 Sistemas de Información Geográfica.

De los Sistemas de información Geográfica (SIG) se han dado variadas definiciones formales:

Según Moldes, F. J. 1995 un Sistema de Información Geográfica, SIG, O GIS en la denominación inglesa (*Geographic Information Systems*), es un conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permiten la gestión de datos organizados en base de datos, referenciados espacialmente y que pueden ser visualizados mediante mapas.

Burrough and McDonnell, 1998 plantean que las definiciones de SIG se agrupan atendiendo a :

- Los SIG como cajas de herramientas. En este caso se destaca su valor utilitario, ejemplo " Un potente conjunto de herramientas para recolectar,

almacenar, recuperar a voluntad, transformar y presentar datos espaciales procedentes del mundo real.” (Burrough, 1986)

- Los SIG como Bases de datos, ejemplo "Un caso especial de Sistema de Información en que la Base de Datos consiste en observaciones sobre elementos, actividades o sucesos distribuidos espacialmente, que se pueden definir en el espacio como puntos, líneas o áreas. Un SIG manipula los datos sobre puntos, líneas y áreas, recuperando los datos para preguntas ad – hot y análisis. (Duecker, 1979)
- Los SIG como entidad organizadora orientada a los Sistemas de Soporte a la Toma de Decisiones en la solución de problemas complejos de planificación y Gestión ejemplo, "Un sistema de Ayuda a la Decisión que integra datos referenciados espacialmente en un contexto de solución de problemas". (Cowen, 1988)

En 1990, NCGIA da una definición bastante completa, donde plantea:

“Un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación análisis, modelación y presentación de datos referenciados espacialmente para la solución de problemas complejos de planificación de gestión”

No obstante, las definiciones que puedan encontrarse, es importante diferenciar la definición de un SIG considerado como producto informático de un sistema de información en pleno rendimiento, es decir, un conjunto de elementos tales como: equipos informáticos, programas, conjuntos de datos, personal especializado, etc. que coordinados nos permite acceder con mucha eficacia a los datos geográficos.

El SIG, según Moldes F. J. (1995), de forma generalizada, hace uso de diversas y variadas áreas del conocimiento científico:

- *Sensores Remotos*: datos históricos, actualizados y conservación continua utilizando fotos e imágenes.
- *Levantamientos Topográficos*: mapas bases, control de terreno y posicionamiento de límites.

- *Fotogrametría*: mapas topográficos y curvas de nivel.
- *Geodesia*: fuente de posicionamiento de alto grado de precisión, especialmente con los nuevos sistemas GPS.
- *Cartografía*: provee la información de forma gráfica (mapas) como serie de capas de información.
- *Estadísticas*: muchos de los modelos construidos en un SIG son por naturaleza estadísticos. Las técnicas estadísticas se usan en el análisis de esos modelos.
- *Computación*: un SIG hace uso de métodos de graficación, diseño de bancos de datos y algoritmos.
- *Ingeniería Civil*: muchas de las aplicaciones en un SIG están en planeación urbana y en transporte.

Para instalar un SIG, hay que seguir una serie de pasos, siendo lo más recomendable, aunque parezca obvio, seleccionar un *software* comercial SIG y crear una serie de programas adicionales o macros de consulta que permitan el acceso rápido y sencillo a los datos. Hay que señalar que no siempre el sistema más caro o el más extendido es el más adecuado para satisfacer las necesidades concretas del usuario. En estos casos, lo más difícil es seleccionar la plataforma *hardware* que pueda estar disponible y que sea necesaria, sobre todo, decidir si es suficiente un ordenador personal (PC) o un ordenador más especializado, como una estación de trabajo gráfico, incluso si se será necesario un ordenador servidor para gestionar el uso en red de los datos, en Internet o Intranet.

En consecuencia, se interpreta de Burrough P. A. (1986) que los Sistemas de Información Geográfica son una tecnología que ofrece un gran potencial para enfrentar los retos de la administración de los recursos naturales en un mundo en el que ya no se puede hacer uso extenso de los mismos.

Entonces, ¿Qué función tienen los Sistema de Información Geográfica?:

La función de los Sistemas de Información Geográfica es mejorar la habilidad de las personas para tomar decisiones. Un sistema de información integra la serie de operaciones que van desde planear la observación y colección de datos, el

almacenamiento y análisis de los mismos, hasta el uso de la información derivada en algún proceso de decisión, (Calkins y Tomlinson, 1977) citados en León Herrera, J. (1996).

Un SIG es un sistema de información que está diseñado para trabajar con datos que están referenciados a coordenadas espaciales o geográficas. (Star y Estes, 1990). En otras palabras, un SIG es un sistema con capacidades específicas para realizar operaciones de captura, almacenaje, manejo, análisis y presentación de datos especialmente referenciados.

También los SIG son una herramienta para crear y actualizar mapas, se puede efectuar esta operación con gran velocidad y facilidad. Para su actualización basta con cambiar la información en base de datos del SIG e imprimirlos en un trazador gráfico. Estos y otros procesos de actualización que podían antes llevar días, meses o años, se pueden ahora llevar a cabo en minutos o días. En un SIG se pueden crear nuevos mapas con partes o combinaciones de los mapas procesados e información contenida en la base de datos asociada. (Berry, B. J. 1989, citados por Peralta, A., R. Peralta, E. Vicente y J. Prado, 1991).

Por tanto, los SIG constituyen una potente herramienta en diferentes campos, de modo que muchas operaciones que antes se desarrollaban en forma tediosa y con muchos errores, hoy son llevadas a cabo automáticamente mediante estos sistemas, que frecuentemente facilitan información para la toma de decisiones.

Una ventaja importante de los SIG es que permiten descomponer la realidad en distintos temas es decir, en distintos capas o estratos de información de la zona que se desea estudiar: el relieve, la litología, los suelos, los ríos, los asentamientos, las carreteras, los límites administrativos, etc. (Otero, Pastor I., 1999)

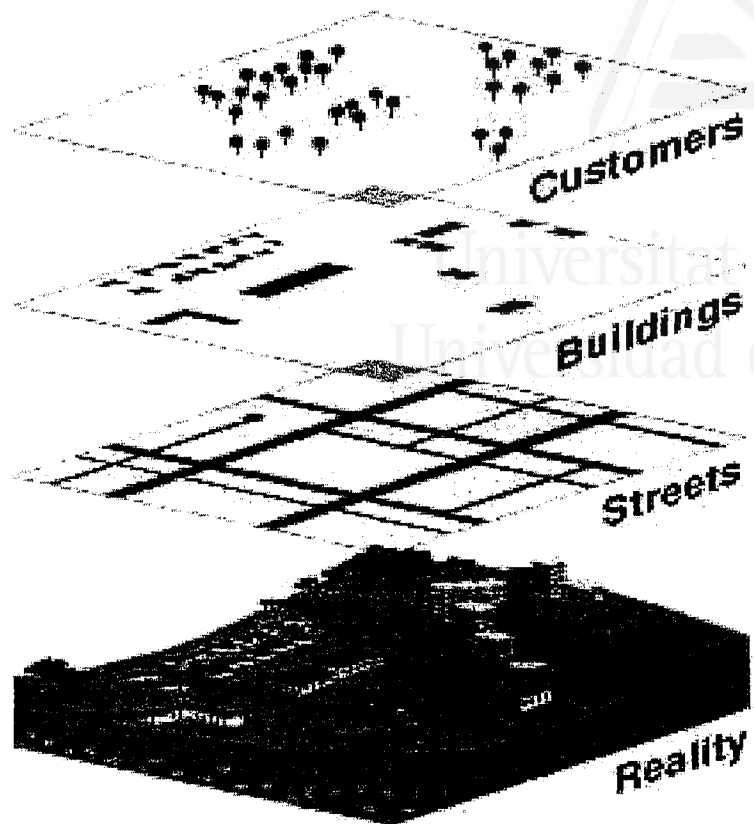


Figura 2.20: Gráfico de capas (Fuente Rodríguez Miranda, 2000).

Por otra parte, cada capa puede ser dividida sin el limitante de una división fija en hojas, cosa que ocurre en la cartografía convencional analógica. Ello agiliza el trabajo, sin la necesidad de recuperar todo el mapa, sino sólo aquellas capas y coberturas con las que deseamos trabajar.

2.5.2.1 Elementos que caracterizan un SIG

Los Sistemas de Información Geográfica pueden concebirse compuestos por un conjunto de subsistemas, integrando cada uno de ellos unas funciones determinadas:

- Subsistema de procesos de datos:
 - Captura y almacenamiento de datos.
- Subsistema de análisis de datos:
 - Integración estadística, cálculo, análisis espacial.

- Salidas de información, presentación en pantalla o impresión, soporte digital o convencional, etc.
- Subsistema de utilización de datos:
 - Conjunto de aplicaciones cerradas con objetivos concretos.
 - Interfase con los usuarios. (Otero, Pastor I.1999 pp. 361)

El paso de la cartografía automática o asistida por computadora a un Sistema de Información Geográfica, se presenta cuando se añade otro nivel de capacidad a los sistemas de cartografía automática. Dicho nivel de potencialidad es la posibilidad de tratamiento de las relaciones espaciales entre los objetos cartográficos. Su aplicación al mapa digital implica que dichas relaciones deben estar almacenadas en el ordenador, de tal manera que puedan ser percibidas por el mismo y ser usadas en los procesos, por ejemplo, las líneas que delimitan una parcela forman parte de una entidad denominada "parcela", a la cual pueden serle asignados unos atributos que la definan. Dentro de la misma, otro conjunto de líneas pueden delimitar una construcción, el sistema será capaz de determinar que la construcción se encuentra dentro del área de la parcela. A su vez, la construcción, puede quedar asociada a la calle por donde se realiza el acceso a la misma.

Se dice, que un programa o conjunto de programas constituye un SIG cuando cuentan, en mayor o menor medida, con las siguientes funciones básicas:

- A- Sistema de representación gráfica que permite representar la mayoría de unidades gráficas típicas de la cartografía automática, tales como: Líneas, puntos, símbolos, tramos, imágenes, etc.. referenciados mediante coordenadas geográficas o cartesianas.
- B- Una base de datos que permita gestionar de forma sencilla, tanto conjunta como separadamente, los datos alfanuméricos y gráficos referentes a un espacio territorial.
- C- Una organización de su base de datos que posibilite relaciones espaciales conocidas como relaciones topológicas, tales como la proximidad de entidades, la inclusión de unas entidades en otras, la continuidad de una ruta, etc.

- D- Sistema de acceso selectivo a los datos de la base de datos que permita consultas y simulaciones con los datos, tanto gráficos como alfanuméricos, por ejemplo un lenguaje SQL (*Secuencial Query Language*) o similar.
- E- Sistema de generación de cartografía automática a partir de las consultas y simulaciones.
- F- Sistema de generación de documentación alfanumérica formado por listados, fechas e informes a partir de las consultas y simulaciones.
- G- Lenguaje de alto nivel que permita realizar aplicaciones a medida, programación.
- H- Sistema de importación y exportación de datos y su organización a ficheros estándar de intercambio de datos. (Moldes, F. J. pp. 4, 1995).

A partir de estas funciones se puede determinar, de forma general, si un sistema informático puede ser considerado como un SIG. Se debe señalar que los sistemas derivados de los sistemas CAD pueden tener mejores resultados en aspectos de cartografía automática e incluso en aspectos de base de datos, sobre todo, en lo referente a su organización topográfica.

Algunas aplicaciones en que los SIG han dado resultados importantes:

- Los cartógrafos utilizan los SIG para elaborar espectaculares imágenes en tres dimensiones para su uso posterior en aplicaciones avanzadas como la realidad virtual.
- Constituye una herramienta sofisticada para el análisis de los datos y la elaboración de mapas que se emplean en todo el mundo.
- Se utilizan en el diseño de paisajes urbanos porque permiten a los urbanistas e ingenieros considerar el impacto que causan nuevos proyectos trazados en los distintos aspectos geográficos y su incidencia a lo largo del tiempo.
- Han proporcionado un acercamiento mundial en cuanto la gestión de los recursos lo que podría ayudar a poner solución a los principales problemas del planeta.
- Se utilizan en estudios científicos, para conocer o determinar la interacción de varios factores biológicos y físicos.

- Permiten separar conceptualmente los factores principales como vegetación, hidrología, superficie del terreno, tipos de suelo y erosión para estudiar como influyen en los ecosistemas.
- Participan de la sinergia de los medios de comunicación de la era digital, con lo que se han convertido en potentes herramientas para la publicación electrónica gráfica de bases de datos, con operativos de gran sencillez que los han acercado al gran público. Cuando utilizamos un navegador en un coche o cuando pedimos la localización de una farmacia de guardia desde un celular, normalmente, no sabemos que por detrás hay un complejo sistema de datos funcionando, basado en un SIG.

2.5.2.2 Principales campos de aplicación de los SIG

Como ya se ha comentado un SIG es, fundamentalmente, un instrumento de análisis espacial de datos; bajo esta perspectiva, un SIG debe ser capaz de gestionar una serie de tareas especializadas que lo hacen apto para multitud de aplicaciones. Mediante la gestión de los datos contenidos en un SIG, esta herramienta es capaz de responder a una serie de preguntas de distinta naturaleza, como las siguientes:

Localización ¿Qué hay en ...?

- Se refiere a qué es lo que se encuentra en una localización determinada. La localización puede describirse de varias formas, por ejemplo, por su topónimo, por su código postal o por referencias geográficas como latitud y longitud.

Condición ¿Dónde se encuentra ...?

- Esta segunda demanda es la inversa de la primera requiere un análisis espacial para ser contestada. En lugar de identificar que es lo que se encuentra en un determinado punto, se requiere encontrar la localización en que se cumple ciertas condiciones por ejemplo, un terreno sin bosque que tenga un área mayor de 2000 m², situado a menos de 200 m de una carretera y cuyas condiciones geotectónica le permitan soportar edificios.

Tendencia ¿Qué ha cambiado desde ...?

- La tercera pregunta involucra a las dos anteriores y su respuesta establece que diferencias se producen en un área determinada a través del tiempo.

Por lo que se refiere a las aplicaciones concretas de los SIG, estas se pueden estructurar siguiendo a Gutiérrez, 1994, en los siguientes apartados temáticos:

- **Aplicaciones forestales**

El primer SIG que se crea fue originado en Canadá precisamente con fines de inventario forestal, esta es un aplicación característica en las que el SIG constituye una ayuda para la conservación y explotación del bosque, indicando qué áreas forestales merecen la máxima preservación y donde resulta más adecuada en cada momento la tala de árboles, atendiendo tanto a criterios económicos como ecológicos. Buenos ejemplos de este tipo de inventarios son el CGIS de Canadá o el MIDAS del Servicio Forestal de Estados Unidos.

Otra aplicación característica de este campo es la de la prevención y análisis de las pautas de difusión de los incendios forestales. Los profesores Salas y Chuvieco del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares, 1996, han desarrollado un modelo que contempla tanto el peligro de iniciarse un incendio como el riesgo derivado del propio comportamiento del fuego, considerando los factores que inciden en su propagación.

Martínez Millán y Martínez – Falero, del Departamento de Economía y Gestión de las Explotaciones Forestales de la Universidad Politécnica de Madrid, han desarrollado asimismo importantes aplicaciones de los SIG en el campo de los incendios forestales.

En Cuba se han desarrollado metodologías de aplicación de imágenes NOAA a la evaluación de daños provocados por incendios forestales.

- Cambio en los usos del suelo

La realización de inventarios de usos del suelo tiene un gran interés desde distintos puntos de vista. Por eso en distintos países se están utilizando los SIG para el almacenamiento y análisis de la información espacial referida a esta variable.

Es digno de resaltar en este contexto el proyecto CORINE – *Landcover*, de la Comunidad Europea, mediante el cual los distintos países miembros deberían disponer de información homogénea en formato digital sobre los usos del suelo, obtenida a través de imágenes de satélite. Aunque algunos países no llegaron a concluir sus trabajos - entre ellos, España –, desde el Corine I se dispone ya de una cartografía digital de usos del suelo a escala 1: 100.000 procedente de teledetección espacial que se está actualizando en el proyecto Corine II, que aprovechará la existencia de bases cartográficas numéricas y planimetría, a escalas más detalladas, con información de usos del suelo procedente de vuelos fotogramétricos regulares y periódicos, en casi todos los institutos cartográficos nacionales y regionales de la Comunidad Europea – entre ellos, el Instituto Geográfico Nacional de España, El Instituto Cartográfico de Cataluña, Instituto Cartográfico Valenciano, etc...-

La variable “uso del suelo” es extraordinariamente dinámica, los cambios de uso están asociados a múltiples fenómenos, como la expansión de las ciudades, el abandono de las tierras de labor, la expansión de los regadíos, la reforestación, los incendios forestales, la construcción de nuevas infraestructuras, etc. Desde hace algún tiempo los SIG se vienen utilizando con éxito en la tarea de determinar los cambios que se producen en los usos del suelo. La información sobre la distribución del uso del suelo proviene de las fotografías aéreas o de imágenes de satélite. Disponiendo de dos mapas digitales correspondientes a una misma zona en dos fechas determinadas, los cambios se deducen automáticamente a partir de una operación de superposición de capas.

En la nueva capa resultante se almacenan como atributos de los polígonos el uso del suelo que registraban en ambas fechas, con lo que se puede conocer en que sentido se ha producido el cambio del uso (por ejemplo de secano a regadío). Una

vez que se conocen los cambios, estos pueden ser clasificados en función de la calidad del paisaje (Otero, 1993), con lo que se puede realizar una cartografía dinámica de la degradación / recuperación ambiental.

- Estudios de impacto ambiental

Los SIG constituyen una herramienta de potencia probada en las evaluaciones de impacto ambiental: el SIG puede contener toda la información relativa al inventario ambiental, por lo que la determinación de las alteraciones derivadas de nuevos proyectos y desarrollos se ve facilitada extraordinariamente; esto es especialmente cierto cuando lo que se busca es la determinación de las áreas vistas y ocultas en el estudio del impacto ambiental.

Cuando se contemplan varias alternativas para la localización de una actividad, el SIG facilita significativamente la evaluación multicriterio.

- Planificación territorial

La planificación física y socioeconómica, así como su integración, constituye un problema complejo desde el punto de vista del manejo de la información, toda vez que se trata de un proceso de toma de decisiones en el que interviene un determinado número de variables de distinta naturaleza.

La utilización de los SIG en las tareas de planificación ofrece la ventaja, sobre otros procedimientos, de dar solución a los problemas cruciales en el manejo de la información: entrada de datos, archivo / gestión, salida de información; proporciona, además, el soporte gráfico necesario para dibujar los mapas y gráficos asociados al análisis que se quiere realizar.

Los SIG tienen, además, la gran ventaja de que la información temática expresada en mapas se puede combinar de múltiples maneras, conforme al modelo que se diseñe como más adecuado, sin perder nunca la referencia territorial, la combinación de factores se realiza por superposición sucesiva de los distintos mapas a los que

puede asignar pesos diferentes mediante el empleo de distintos algoritmos; en Otero 1993 se pueden encontrar distintas aplicaciones de los SIG a este campo de trabajo.

- **Catastro**

En varios países se ha emprendido la ambiciosa tarea de informatizar el catastro con el soporte de un SIG, un buen ejemplo es el SIGCA, de la Agencia Tributaria Española (iniciado en el programa *ARCINFO* en 1989, ahora continúa su explotación en versión *ARCGIS*). El catastro de bienes inmuebles (rústicos y urbanos) se convierte así en una base de datos computarizada que contiene información territorial al mayor grado de resolución, sobre el territorio nacional. (Mas, 1993).

El catastro contiene información espacial (localización, límites, superficie) y temática (cultivos o aprovechamientos, calidades, valores) sobre las parcelas, y debe ser actualizado constantemente. Aunque su función primordial es la servir de base para la gestión de diversos impuestos, la información que ofrece puede ser de gran utilidad para multitud de aplicaciones. De hecho, un sistema de información catastral es una herramienta para la toma de decisiones en los ámbitos legal, administrativo y económico, y una ayuda para la planificación y el desarrollo. (Dale, 1991)

- **Mantenimiento y conservación de las infraestructuras.**

Cada vez son más frecuentes los inventarios sobre redes de carreteras y ferrocarriles, basados en la tecnología SIG. Así, por ejemplo, en el caso de las carreteras se suelen incluir datos relativos a sus características geométricas, señalización, estado de conservación del pavimento, intensidad del tráfico, accidentes, puentes, etc. (Gutiérrez Puebla, 1992).

Los técnicos de mantenimiento de carreteras pueden recabar del sistema de información sobre cuestiones como cuales son los tramos de carreteras que no han sido asfaltados en los últimos 5 años. Por otro lado, la información sobre accidentes puede ser puesta en relación con otras variables, como la señalización o el estado de conservación de la carretera, con objeto de

disminuir la peligrosidad en todos los tramos en que se dan esas mismas características. (Maguire, Smith y Jones, 1993)

- **Redes de infraestructuras básicas**

Uno de los sectores en que más ha crecido el negocio de los SIG es en la gestión y planificación de las redes de infraestructuras básicas: redes eléctricas, telefónicas, de distribución de gas, de agua, alcantarillado, etc. Este sector se conoce internacionalmente con el nombre de AM/FM (Automated Mapping and Facilities Management).

Generalmente se trata de grandes redes gestionadas por importantes compañías que dan servicio a miles e incluso a millones de clientes.

Estas empresas tienen la necesidad de disponer de una cartografía muy precisa sobre dichas redes, así como de bases de datos con las características de elementos de la red. Evidentemente la tecnología SIG responde a esa necesidad, ya que permite relacionar la información alfanumérica con los registros geográficos, en la forma de una gran base de datos georreferenciada.

Los datos son utilizados en el trabajo diario para cuestiones como la localización de averías y la generación de planos para facilitar su trabajo a los técnicos de reparación. Se trata por tanto, más de una herramienta para la gestión de la información que para el análisis. Por ello, lo más importante en este sector es la capacidad para gestionar grandes volúmenes de datos en la forma más rápida posible. Sin embargo, y aunque el objetivo fundamental de estos sistemas es el mantenimiento de las redes, también se utilizan con otros fines, como el análisis de mercado, trazado de las nuevas líneas, análisis de redes, etc. (Otero, Pastor I., 1999)

- **Protección civil: riesgos, desastres naturales, catástrofes**

Los SIG constituyen una herramienta eficaz para la prevención de riesgos de muy distintos tipos y para la toma de decisiones ante las catástrofes. Con la

ayuda de un SIG se pueden abordar cuestiones como la determinación de la distribución exacta de los focos y zonas de riesgo, también la identificación de la población potencialmente afectada y la selección de las redes de transporte utilizables para facilitar una eventual evacuación. Conviene recordar que los focos de riesgo pueden ser naturales (inundaciones de los ríos, riesgo volcánico) o producto de la actividad del hombre y que estos últimos pueden estar ligados a la producción (por ejemplo: las centrales nucleares), la distribución (transporte de mercancías peligrosas) o el consumo (depósito de gas).

- **Análisis de mercados**

El análisis de mercados trata sobre clientes (reales o potenciales) de las empresas y la satisfacción de sus necesidades mediante la oferta de los bienes y servicios apropiados. En un marco de competencia, el análisis de mercados resulta un aspecto clave no solo para la expansión y crecimiento de las compañías, sino incluso para garantizar su propia supervivencia. Dado que los clientes como los puntos de oferta tienen una localización en el espacio, la consideración de esa componente espacial en los análisis de mercado resulta fundamental.

Es lo que se ha venido a conocer con los términos de análisis espacial de mercados, *geomarketing* o incluso geodemografía. El análisis espacial de los mercados debe responder a preguntas como las siguientes: ¿dónde se localizan nuestros clientes?, ¿dónde existe una concentración importante de clientes potenciales para nuestro negocio?, ¿dónde podemos distribuir nuestros productos y servicios?, ¿dónde se localizan los puntos de oferta de la competencia?, ¿dónde podemos establecer nuevos puntos de oferta?. (Beaumont, 1991)

Esta última pregunta, enlazada con algunas de las anteriores, marca un importante campo de aplicación del análisis espacial de mercados. Se trata de determinar en que zonas existe un potencial de mercado suficiente como para justificar la apertura de un nuevo punto de atención al público. Esos

análisis deben buscar nuevas localizaciones en las que exista un número suficiente de clientes potenciales, situados a una distancia o tiempo de acceso razonable, y sin olvidar el efecto que produce la existencia de puntos de oferta de la competencia. La decisión final debe indicar no solamente *dónde* sino también *qué* tipo de punto de oferta es aconsejable. Así, por ejemplo, en el caso de las sucursales de los bancos ese nuevo punto de oferta puede ir desde una oficina principal hasta un simple cajero automático.

- **Planificación urbana**

Cada vez es mayor el número de municipios que poseen un SIG en el que se almacena y gestiona información relativa al planeamiento, la propiedad de los bienes inmuebles y los impuestos que sobre ellos recaen, las infraestructuras, etc. (Pueyo, 1991). El SIG se utiliza en tareas muy diversas, como la gestión de los impuestos municipales, el control del cumplimiento de la normativa urbanística, la localización de nuevos equipamientos, la mejora del transporte, etc.

Además, los SIG municipales pueden jugar un importante papel en la revisión de planes generales de urbanismo y normas subsidiarias, como herramienta para la selección de zonas aptas para distintos usos, es decir, para la *planificación territorial a escala local*.

En Cuba se han utilizado ampliamente los SIG en proyectos distintos. Un ejemplo de esto es las aplicaciones de los SIG en el Municipio Especial de la Isla de la Juventud (Alvarez P.R., 2001, Resultados del Proyecto Científico-Técnico SIGIT-IJ, Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, República de Cuba)

2.5.3 Programas para la Cartografía Digital

El mapa, desde sus orígenes, ha puesto ante nosotros la representación gráfica del territorio. El mapa impreso de forma tradicional representa los aspectos esenciales del territorio desde el punto de vista topográfico, en él encontramos carreteras,

pueblos, ríos, obras públicas, cultivos y representación del relieve; nos proporciona el único medio de conocimiento de un territorio, ya sea grande o pequeño, o con mayor o menor cantidad de detalles del municipio, provincia, región o país, según la delimitación de frontera a considerar. Este conocimiento, tan solo puede ser alcanzado de manera alternativa, por el recorrido de la persona por el territorio o por el reconocimiento pie a tierra, aunque es preciso decir que sin llegar a sustituir al mapa, ya que siempre será necesario para adentrarse en zonas que no se conozcan, planificación de itinerarios, o posteriormente para su visualización o estudio en gabinete.

La disposición de cartografía en soporte digital abre la posibilidad de que el mapa no sea únicamente un instrumento de conocimiento territorial, sino también un instrumento eficaz para que la información gane en su dimensión geográfica, como soporte de referenciación de datos temáticos y sectoriales. El único requerimiento que se precisa para ello es que esos datos puedan situarse geográficamente en algún lugar sobre el territorio, por medio de su citada condición de ser referenciados sobre el territorio.

Las Bases Cartográficas Numéricas son en realidad mapas continuos del territorio, "sin costuras", que se van a convertir, o mejor dicho, en muchos casos ya son verdaderos puntos de encuentro de otras bases de datos, que adquieren así el valor añadido de su integración en el marco geográfico. Es conocida por información geográfica toda aquella información que pueda referirse o referenciarse sobre el territorio. De hecho, cualquier tipo de información manejada por cualquier empresa, tiene la característica de poder ser referenciada geográficamente, mientras que la cartografía es el soporte de integración de la información. (Cebrián, 1986)

En un enfoque de futuro el mapa, la cartografía en soporte digital, jugará un papel estratégico, convirtiéndose en la infraestructura de referenciación de la información, sobre la que pueden situarse datos relativos a la distribución territorial de la población, el medio ambiente, los recursos naturales, la producción industrial, estadísticas o indicadores socio – económicos, o aquellos otros que son utilizados por las empresas en sus actividades cotidianas; ya es un hecho en algunos países.

2.5.4 El mapa digital y su papel en la esfera de los estudios geográficos

El objeto de la cartografía, actividad a la cual prácticamente todos los investigadores relacionados con las geociencias tienen acceso hoy día, gracias a las tecnologías computacionales existentes y a los sistemas de información geográfica (SIG), es el estudio de los mapas como método especial de representación de la realidad. La cartografía incluye entre sus tareas, el estudio multilateral de la esencia de los mapas geográficos y la elaboración de métodos y procesos para su confección y uso. (Salitchev, K.,1966).

El mapa digital constituye un soporte de información y comunicación que se está empleando cada vez con mayor profusión. Por este motivo, la utilización de estos documentos gráficos se ha generalizado entre los investigadores dedicados a las geociencias y, en general, entre aquellos que de manera directa tienen que ver con los estudios sobre el territorio.

Los mapas digitales son un atributo inalienable de la civilización, fruto de su desarrollo científico-técnico. En la actualidad, resulta difícil enumerar todas las esferas de la ciencia y la práctica donde éstos se emplean. La propiedad más notable de este producto cartográfico de nueva generación radica en que es un documento informativo de nuevo tipo sobre el territorio, conformado por un idioma específico y especial (el de las Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC), en un soporte susceptible de ser manejado, conservado y consultado de manera muy eficiente: lenguaje binario, el propio de la electrónica digital.

2.6 Infraestructura tecnológica del proceso digital

Hoy día es importante el equipamiento que se va a utilizar para la realización del tratamiento digital de imágenes, el cual debe ser de la más alta tecnología, con gran capacidad de memoria, para que el proceso se convierta en un ejercicio ágil y

sumamente rápido, así como la obtención de los resultados y la confiabilidad de los mismos que en estos casos son muy altos.

2.6.1 HARDWARE

Las posibles arquitecturas capaces de soportar un sistema SIG pueden clasificarse en las siguientes:

- Sistemas integrales o corporativos.
- Sistemas abiertos.
- Sistemas compactos.
- Sistemas combinados.
- Microsistemas.

La configuración básica más generalizada que se utiliza en un SIG consiste en:

- Estación de trabajo (*workstation* o WS), ordenador personal (PC) u otro ordenador mini o *mainframe*.
- Unidades de almacenamiento de datos y de lectura (cintas, discos, etc)
- Mesa de digitalización.
- Impresora trazadora o *plotter*.

Un ejemplo del *hardware* o equipamiento electrónico usualmente necesario para el funcionamiento de un Sistema de Información Geográfica en el proceso digital de imágenes y en otras tareas similares, se muestra en el Gráfico 2.21.

La computadora, contiene los medios fundamentales de almacenamiento de programas y datos, proceso de la información e *interfaces* (intermedios) para el despliegue de la información en el **monitor**, comunicación con otros periféricos, como los barredores ópticos u otras computadoras, si se está conectado a una red. Dispositivos como el **teclado** y el **ratón** son frecuentemente usados para la entrada de datos.

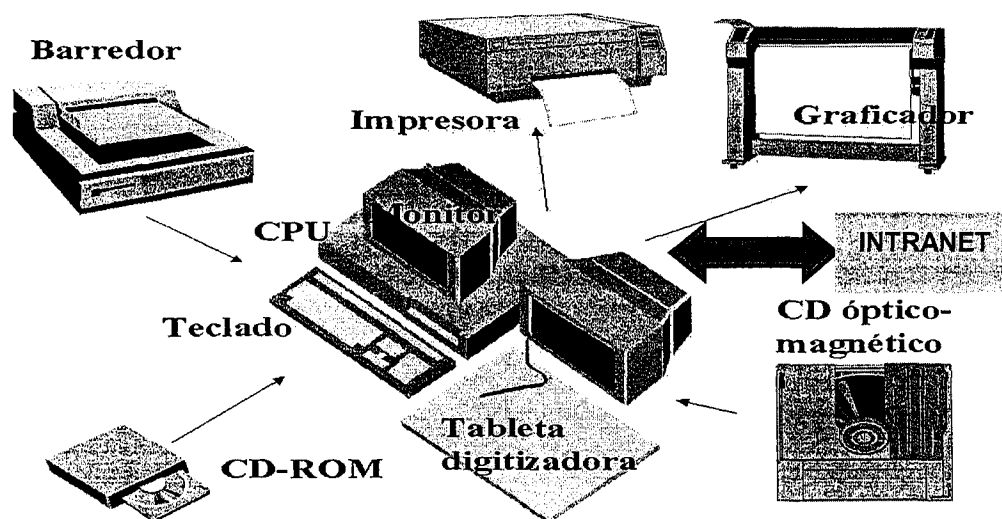
El digitalizador convierte los mapas analógicos a formato digital, mediante la conversión de las coordenadas enviadas por un puntero a la computadora, se obtiene un fichero con información vectorial.

El Barredor Optico (scanner), provee una imagen digital de un mapa o documento analógico, se obtienen ficheros en formato teselar o reticular (*raster*).

“Ploteador”, trazador e impresora, dispositivo de salida para imprimir los productos gráficos (mapas, por ejemplo) sobre papel u otro material.

Cintas o discos, generalmente se necesita de capacidades extra para el almacenamiento de datos y realizar varias generaciones de copias de seguridad, aunque el precio de la memoria de almacenamiento actual y las capacidades arquitectónicas de las más recientes configuraciones, nos permitan encontrar ciberespacios que trabajan en Terabytes desde un simple PC. También se puede buscar dicha capacidad en un servidor, cuando se está conectado a una red, en este caso deben añadirse los elementos de *hardware* propios de una red y la más adecuada gestión centralizada que impone una corporación.

Figura 2.21 Hardware o equipamiento electrónico usualmente necesario para el funcionamiento de un SIG.



Estas estaciones de trabajo han representado el nivel de cómputo ideal para la construcción de los SIG durante los últimos años, caracterizándose por una elevada capacidad de proceso, asegurada por potentes procesadores que comparten su trabajo con aceleradores aritméticos y gráficos. Como pantallas de representación gráfica son utilizados monitores de gran tamaño (por encima de las 17") y alta resolución (usualmente hasta 1280 x 1024 puntos). Las capacidades de memoria interna habituales alcanzan valores hasta 512 MB o más, mientras que en el almacenamiento externo, se alternan dispositivos magnéticos de alta velocidad y capacidades del orden de 120 GB, con discos compactos que pueden contener varios cientos de TB de información, pero que suelen ser relativamente más lentos.

Como parte del equipamiento utilizado en las aplicaciones SIG, aparecen usualmente importantes dispositivos de entrada y salida de datos. Entre estos pueden mencionarse los digitalizadores de diferente formato, con los que pueden introducirse mapas y planos, recorriendo pacientemente con una pluma especial o un *mouse* cada trazo del documento de entrada, colocado sobre un tablero sensible al movimiento del marcador. Estos se caracterizan por una elevada resolución, lo que garantiza una alta precisión de los gráficos captados y se ofrecen en distintos formatos desde A4 hasta A0. También se han hecho muy frecuentes los *scanners*, equipos de captación de imágenes en formato *raster* que, de la misma forma que los anteriores, se presentan en una amplia gama de formatos y con diferentes parámetros de resolución espacial, niveles de gris o colores reconocidos. (Soporte Técnico Sistema TeleMap, 1994).

Por su menor costo y su mayor implantación, los ordenadores personales (PC) son actualmente la plataforma más utilizadas, aunque también las estaciones de trabajo, bajo el sistema operativo UNIX o Windows han experimentado un crecimiento considerable, debido fundamentalmente a su mayor potencia de cálculo.

2.6.2 SOFTWARE (programas)

En la Universidad de Pinar del Río, se cuenta en la actualidad con los siguientes software:

MAPINFO 5.5: Se recibió formación en su utilización en el programa de doctorado. Fue usado en la vectorización y en la creación de la Base de Datos Alfanuméricas vinculadas con las entidades espaciales.

AutoCad 2000: Fue utilizado en la vectorización y en otras tareas de limpieza y mejoramiento de los ficheros dxf.

ENVI 3.5: Fue empleado en el proceso digital de imágenes de percepción remota. Se utilizó con licencia del proyecto Sabana-Camaguey (GEF/PNUD). En el futuro deberán adquirirse otros programas de SIG comerciales, así como sus correspondientes licencias de operaciones, además de otros programas para el tratamiento de imágenes y para la salida gráfica de la información.

Las bases de datos se procesaron con los utilitarios del paquete *Microsoft Office 97*, *Access* y *Excel*.

2.6.3 Propuesta de Infraestructura tecnológica para los estudios que se desarrollan en la tesis

En la presente tesis, para la realización del trabajo de gabinete se cuenta con una infraestructura metodológica mínima, pero que garantizan el desarrollo del trabajo que se pretende hacer.

- ❖ Computadora personal con microprocesador *Pentium IV* 1,7 GHz 40 Gb dHDD 256 Mb RAM; 32 Mb video.
- ❖ Monitor *Acer v 771* 17"
- ❖ Impresora *Deskjet HP 880 – C*
- ❖ Escáner A – 3, *EPSON Expression 386 XL*, resolución 3200 DPI.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Conclusiones del capítulo

En el presente Capítulo se han analizado con detalle las tecnologías avanzadas en el campo de la Geomática aplicada que han sido utilizadas para la realización de la captura de información del presente trabajo y la importancia de las mismas en el campo de la Geografía, sobre todo, para la creación y actualización de un base cartográfica operativa y proporcionada a los objetivos de la investigación, lo que ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

- Que las técnicas propuestas son una herramienta poderosa y adecuada para darle cumplimiento al trabajo propuesto.
- Que se cuenta con el *SOFTWARE* necesario para acometer el trabajo, tanto para la realización del tratamiento de imágenes como para la obtención de la cartografía de los recursos naturales, teniendo en cuenta los problemas para gestionar la licencia de utilización de los mismos.
- Que se tiene el equipamiento, con las condiciones mínimas necesarias para emprender y darle cumplimiento a las tareas propuestas.
- Que no es necesario contar con equipamiento de última generación en *soft* y *hard*, pues la importancia radica en la disponibilidad de información de calidad y sobre todo, en la capacidad que da la formación del equipo humano y su habilidad para obtener un adecuado resultado del proceso de la información geográfica disponible

CAPÍTULO III: Análisis del uso de las tecnologías avanzadas. Diseño del SIGMAC

3.1. Desarrollo metodológico de las actividades científico técnicas dirigidas a la creación de un sistema integrado de información geográfica

Hace ya varios años, en una serie de países, los mapas y atlas digitales denominados también mapas y atlas electrónicos, resultan ser un producto cartográfico de elevada rentabilidad, lo que acelera la recuperación de los gastos que se han tenido que invertir al adquirir los medios técnicos necesarios para la automatización.

Las cuestiones acerca de la automatización de los procesos cartográficos cada vez se fusionan más con las posibilidades del proceso digital de imágenes, los sistemas de posicionamiento global, los métodos de percepción remota aéreoespacial y la fotogrametría analítica y analítico – digital, tecnologías que permiten la captura de datos sobre el territorio con una gran rapidez y exactitud.

Todos estos avances tecnológicos han revolucionado a la cartografía como ciencia y como técnica. La labor cartográfica se ve influida también por los cambios que se están operando en las demandas de mapas que sean el reflejo más eficaz y objetivo de los procesos y fenómenos que ocurren entre la naturaleza y la sociedad, sometidos a las relaciones socioeconómicas, como es el caso de los estudios medioambientales. En este proceso cognoscitivo la computación juega un papel preponderante.

No cabe duda, el análisis numérico disciplina el proceso del pensamiento científico y proporciona una valiosa ayuda al descubrirse las relaciones y dependencias entre fenómenos que caracterizan el objeto de investigación, debido a la necesidad de manejar una gran cantidad de datos y de realizar un volumen considerable de cálculos en el proceso del tratamiento de la información, aquí, las posibilidades que brinda la computación son insustituibles, liberando a los investigadores de un proceso mecánico de cálculo agotador con numerosas variables y funciones complejas, las consultas y los análisis espaciales mediante distintos tipos de mapas temáticos y la modelación de procesos físico – geográficos complejos. La tarea consiste, por lo visto, en la combinación racional y lógica del trabajo mediante las tecnologías computacionales con los métodos geográficos y cartográficos tradicionales, el uso de la información

aeroespacial y el apoyo insustituible de las observaciones *in situ*, que complementan la intuición científica y la capacidad profesional de los geógrafos, con el fin de asimilar la información sobre la envoltura geográfica (Mather, M. Paul; (1976); Taylor, D. R. F. (1991)

Una de las direcciones fundamentales de la ciencia y de la producción cartográfica en la actualidad, es la relacionada con la producción de mapas digitales. Esto se debe a las ya reconocidas ventajas que esta ofrece:

- La información se registra en un soporte totalmente estable.
- El almacenamiento es fácil y ocupa poco espacio.
- La reproducción es inmediata.
- Se mantiene la precisión geométrica con el paso del tiempo de almacenamiento.
- La puesta al día de la información (actualización del mapa), es fácil y rápida.
- Otras.

Debido a la introducción de las nuevas tecnologías y métodos avanzados, se observa un fenómeno de alteración del proceso de realización de los mapas y si, hasta hace poco era común pensar en términos de las distintas fases de recogida de datos, compilación, diseño, producción y reproducción, ahora, con la posibilidad de digitalizar los datos, las etapas posteriores tienden a unificarse en una sola, sumándose la posibilidad de la "lectura del mapa" por parte del usuario. Esta fusión de etapas está alterando la relación entre el ejecutante del mapa y el cliente, ya que se potencia que el usuario del mapa tome parte directa en su elaboración, creándose la alternativa de confeccionar un mapa "*a la medida del cliente*"; o sea, atendiendo a sus intereses concretos.

Esto puede provocar que el mapa pierda calidad desde el punto de vista de la representación cartográfica y que se vayan debilitando las exigencias de la cartografía como ciencia y como arte. De todas formas, la tecnología, especialmente la computacional, marcará el futuro desarrollo de la cartografía imponiéndole su sello. La tarea de los cartógrafos profesionales consistirá en que aquella no domine a ésta y lograr que en este progreso se combinen la ciencia, la tecnología y el arte para lograr

documentos cartográficos que se caractericen por sus potencialidades informativas de representar la realidad, que se expresan a través de tres conceptos básicos de la cartografía: la cognición, visualización y comunicación.

Las ventajas y posibilidades que brinda la utilización combinada de estas tecnologías avanzadas, son superiores en muchos aspectos a las que ofrecen los métodos tradicionales de investigación *in situ*. Por otra parte, la interconexión SIG – GPS está dando resultados muy alentadores en la tarea de captura y proceso de datos georreferenciados.

El mapa temático digital, es un documento empleado como medio eficaz para la interpretación y la organización de los datos geográficos, así como para la definición de distintas regularidades, relaciones y dependencias entre los elementos que conforman los paisajes, susceptibles de convertirse en bases para el conocimiento.

Se puede afirmar que los mapas digitales y su contenido informativo constituirán una herramienta fundamental para el análisis, toma de decisiones y seguimiento de todas las actividades relacionadas de una u otra manera con las áreas naturales del territorio. Sus posibilidades de comunicación y la calidad de representación de la realidad se verán extraordinariamente mejoradas y ampliadas con el uso combinado de todas las tecnologías de captura y proceso automatizado gestionadas desde la ventaja operativa ofrecen los SIG.

El diseño general del SIG para apoyar los estudios de esta tesis, trató de ajustarse a los medios técnicos, tecnologías y fuentes de datos existentes en el territorio. A continuación, se señalan brevemente algunas cuestiones generales relacionadas con el diseño para implementar las aplicaciones de los SIG, tomadas del resultado “*El análisis Medio Ambiental mediante un SIG*”, (Novúa O. y otros autores, del Dpto. Modelación Cartográfica y SIG, IGT, 1999), con el objetivo de compararlas con las particularidades de su aplicación al litoral costero al Sur de Pinar del Río. Dicho documento dice: “..., los SIG comerciales utilizados (...*MapInfo*...) permiten realizar las funciones siguientes:

Tabla 3.1 Funciones de manejo de datos

Visualización de datos espaciales	Manejo de variables para las entidades geográficas (puntos, líneas y polígonos)	Localización Color / Matiz Intensidad Tamaño Forma Esparcimiento Orientación Símbolos
Mantenimiento de datos espaciales	Transformaciones de formato	Importación y Exportación de datos en variados formatos de otros paquetes
		Analógica – Digital (Digitalización)
	Transformaciones geométricas	Georreferenciación
		Transformaciones de coordenadas (Rotación, Traslación, Reverso, Escalamiento)
	Transformaciones de proyecciones	
Edición de elementos gráficos	Agregar, Borrar, Cambiar	
Generalización de líneas	Simplificación	
	Desplazamiento de rasgos (Cambio de identificadores, tramado, espesores de líneas, etc.)	
	Unión	
Edición de atributos	Agregar, Borrar, Cambiar	
Interrogación a la base de datos de atributos (consultas)	Preguntas a la base de datos de atributos. Selección de datos de la base de datos con especificaciones o condiciones	

Tabla 3.2 Funciones de análisis de datos.

Consulta / Recuperación	Extracción de datos mediante especificaciones geométricas	
	Extracción de datos mediante condiciones geométricas	
	Extracción de datos mediante especificaciones simbólicas	
	Extracción de datos mediante condiciones simbólicas o lógicas	
Reclasificación / Generalización	Reasignación de valores a las categorías de un mapa en función de variables	Valor inicial Posición Tamaño Forma
	Cálculo de distancias entre puntos, líneas o polígonos Longitud de líneas	

Mediciones	Perímetros y áreas de polígonos Número de puntos Número de puntos dentro de un polígono	
Sobreposición	Aritmética	Suma Resta Multiplicación División
	Lógica	Áreas donde ocurren un conjunto especificado de condiciones
Vecindad	Búsqueda	Asignación de valores de vecindad
		Búsqueda empleando <i>Buffers</i>
Conectividad	Contigüidad	
	Proximidad (<i>Buffers</i>)	

Las salidas de datos que se obtienen en forma gráfica y alfanumérica (mapas, tablas, textos y gráficos), pueden ser impresas como copias físicas mediante impresoras y graficadores, desplegarse en el monitor de la PC o copiarse en formatos digitales en un soporte magnético dado, brindando la posibilidad de conversión a diferentes formatos de entrada a otros sistemas. Ninguna entidad del territorio donde se implementó el SIG de la tesis posee impresoras de calidad, ni los graficadores, para llevar a cabo una presentación en formato analógico de los resultados de los análisis y la cartografía temáticos realizados por la autora, por lo que se ha decidido incorporar versiones en formatos de imagen para insertar en el texto de la tesis.

Los tipos de salida más importantes que han sido señalados son los que aparecen en la figura 3.1.

TIPOS DE SALIDAS

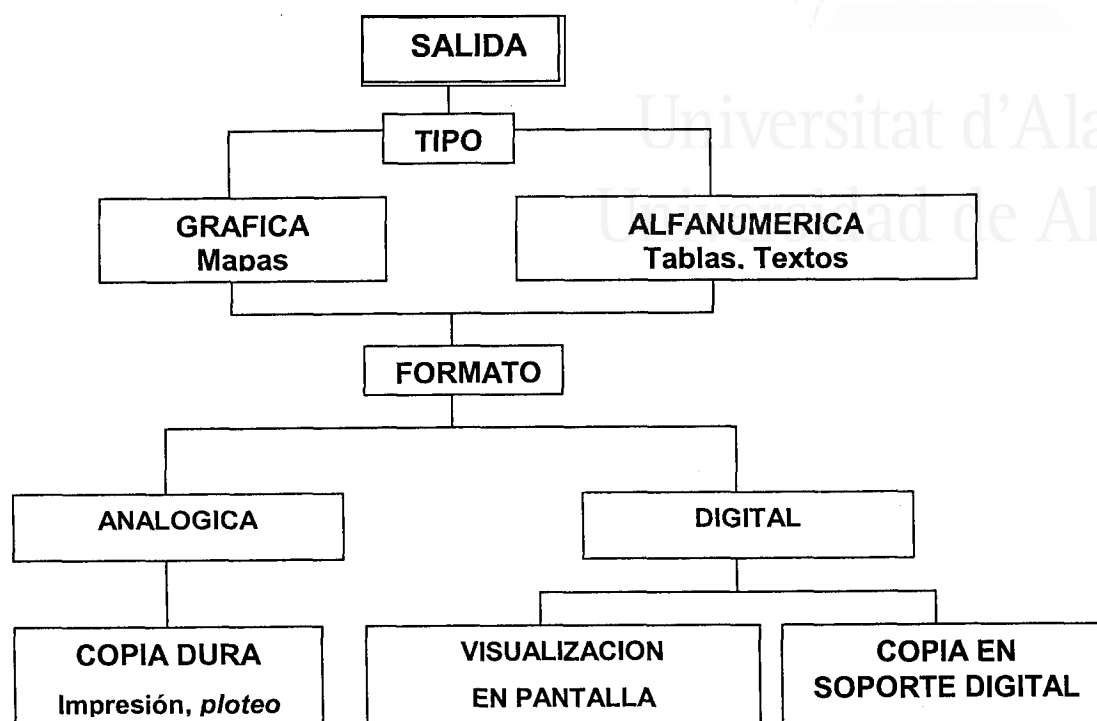


Figura 3.1: Representación de los tipos de salida de la información obtenida a través de los SIG.

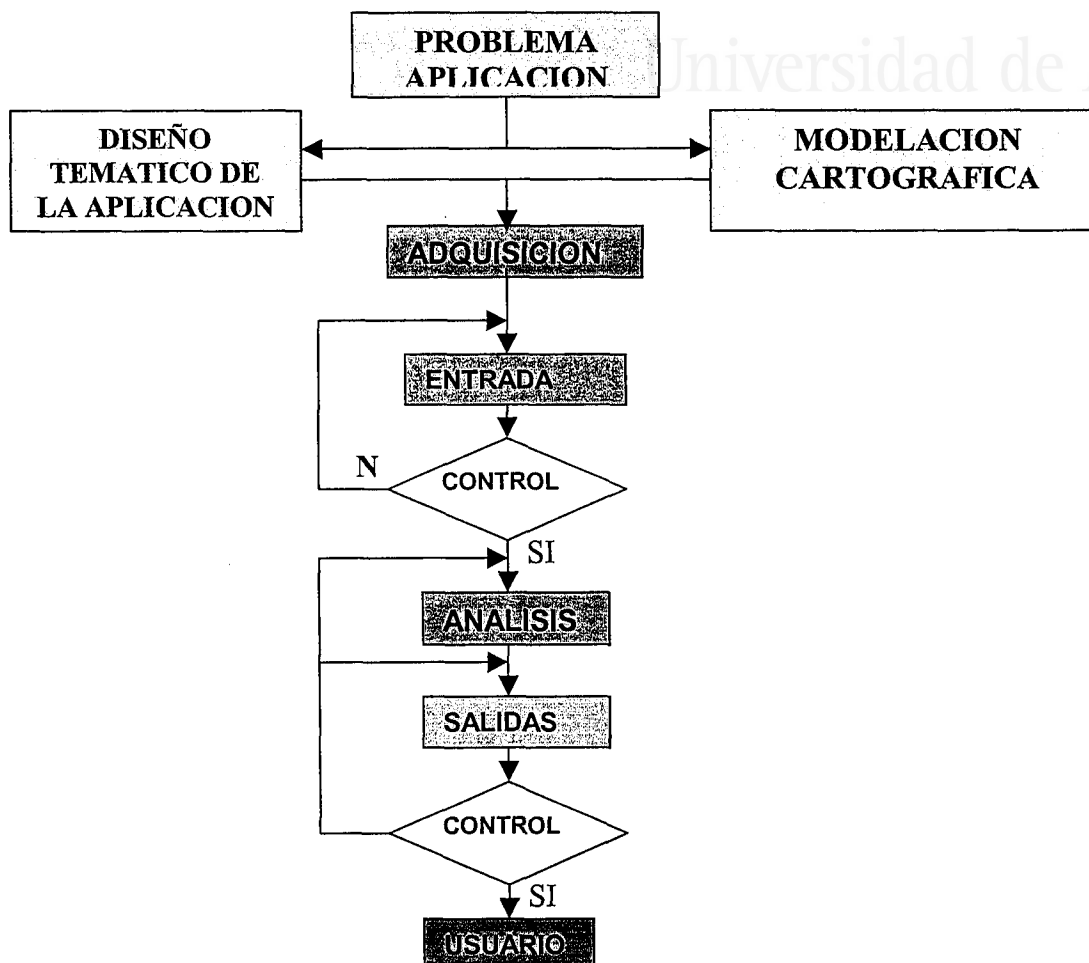
En el documento mencionado se plantea:

“...Por lo general, todos los software comerciales empleados poseen un módulo de generación de mapas temáticos mediante el cual se pueden construir documentos cartográficos que representen distintas variables a la vez. Mediante los mismos se pueden emplear los símbolos por intervalo, los símbolos proporcionales, los rellenos por intervalo, los rellenos proporcionales y los puntos como métodos de representación cartográfica de las variables, entre otros métodos de representación.”

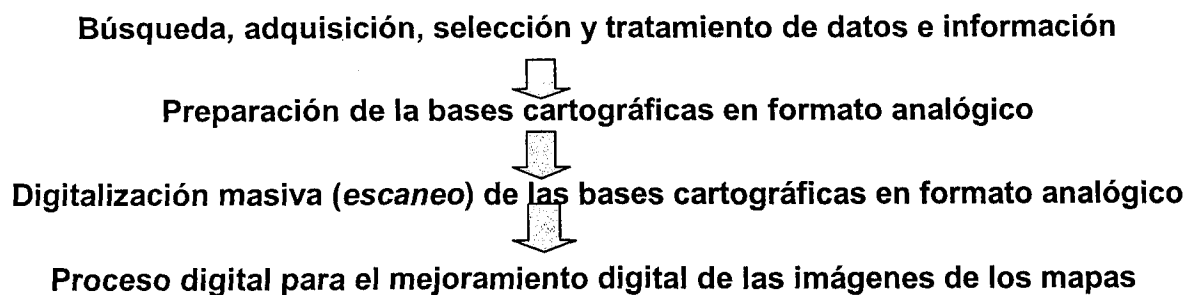
El esquema funcional de un SIG depende de varios factores; entre ellos, de los recursos técnicos y humanos disponibles. Cualquier aplicación de SIG que se desarrolle puede seguir el esquema mostrado en la figura 3.2 que se muestra más abajo, pero debe considerarse que éste puede variar cuando se ajusta a la práctica. Por otra parte, en cada una de las etapas que aparecen en la figura, se deben detallar los métodos, procedimientos técnicos, materiales y equipos que se van a emplear.

En el esquema que se presenta, sólo se han señalado las etapas generales que conforman todo el proceso de implementación de una aplicación SIG.

Figura 3.2 ESQUEMA FUNCIONAL GENERAL PARA LLEVAR A CABO LAS APLICACIONES SIG



Por lo general, el SIG que se desarrolló en el trabajo se rigió por el Esquema Tecnológico General expuesto en la figura 3.3, aunque existen distintas variantes en la confección de los mismos:



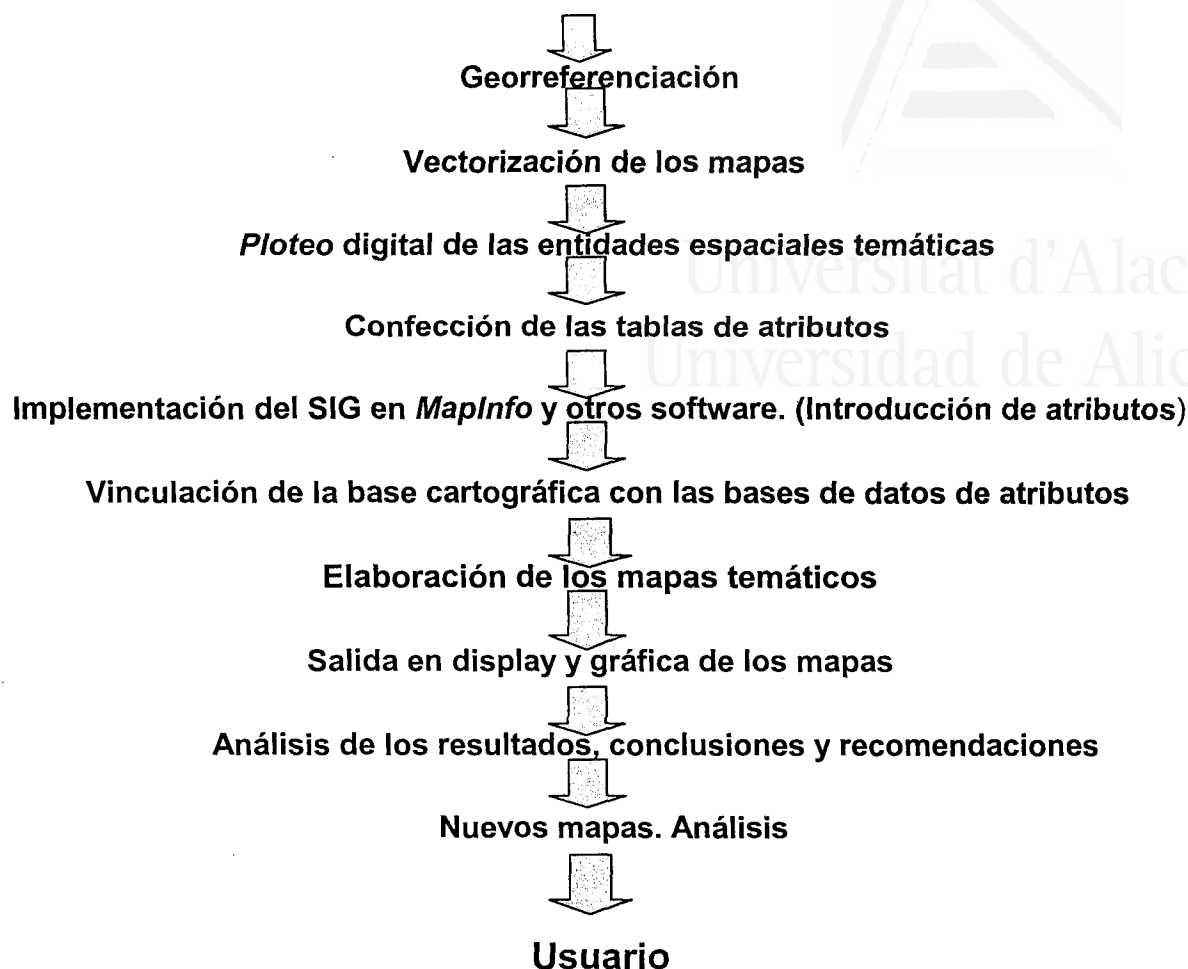


Figura 3.3 Esquema Tecnológico General

Distintos autores aconsejan diferentes variantes para la ejecución de las aplicaciones de los SIG. En el documento sobre el que se hace referencia se proponen 4 grupos o subsistemas de trabajo para el Análisis Medio Ambiental que se interrelacionan entre sí. Según Alvarez Portal et al, 2001 la cantidad de grupos y de personas que integran los mismos puede variar. Para llevar a cabo aplicaciones complejas que generen un SIG que será administrado por el Usuario del sistema, se plantea que es posible crear distintos grupos de trabajo como son:

...“**GRUPO TEMÁTICO**”: está compuesto por especialistas en la temática que aborda la aplicación. Está encargado del diseño temático de la aplicación, donde tiene gran importancia la definición de los datos y las metodologías a emplear (análisis), para dar solución a los problemas planteados. Se ocupa, además, de la adquisición de los datos necesarios y de poner éstos en manos del grupo de **Modelación Cartográfica**, con todas las especificaciones que se requieren según el caso. También participa en los

análisis y en la elaboración de las salidas y en los controles a la entrada y salida de los datos e informaciones para su evaluación, según el esquema funcional”.

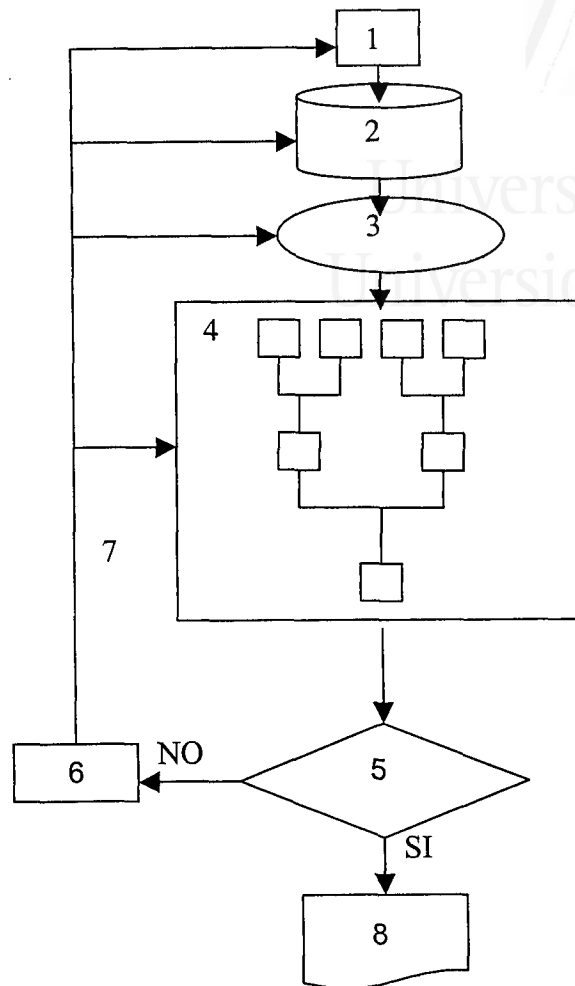
...”**GRUPO DE MODELACIÓN CARTOGRÁFICA:** Sus actividades se diferencian de las del **Grupo Temático** y están justificadas en dependencia de la complejidad de la aplicación y del grado de especialización que se tenga en la temática a tratar y en la modelación cartográfica de cualquier proceso mediante los SIG. Cuando la aplicación es compleja y se requiere centrar la atención, por una parte, en las cuestiones teóricas y metodológicas y, por otra, en la modelación multivariable de procesos, es ventajoso especializar los dos grupos y actuar en estrecha interrelación. Este grupo se compone de especialistas en SIG y en cartografía, fundamentalmente, con amplia visión geográfica para realizar la modelación cartográfica de los procesos descritos por el **Grupo Temático** como solución de los problemas planteados, siguiendo los pasos descritos anteriormente. Por otra parte, participa en los análisis y en la elaboración de las salidas y también en los controles a la entrada y salida de los datos e informaciones para su evaluación, según el esquema funcional”.

...”**GRUPO TÉCNICO:** se compone de técnicos bien entrenados, especializados en la entrada de datos. Este grupo tiene la responsabilidad de la introducción de las entidades espaciales de los mapas y de sus atributos, con la condición de tener una probabilidad muy baja de errores. Su trabajo incluye la edición y corrección de las bases de datos, teniendo en cuenta los controles efectuados a los datos almacenados”.

...”**GRUPO DE BASES DE DATOS Y MANTENIMIENTO DIGITAL:** se compone de especialistas en computación y en bases de datos, que garanticen la funcionalidad para el trabajo de todos los componentes del hardware y del software. Se encarga también del funcionamiento óptimo de los equipos; la compatibilidad en el trabajo entre los diferentes programas y sistemas utilizados y los equipos; el funcionamiento y mantenimiento de las bases de datos; el mantenimiento del resguardo de las bases de datos y las necesidades de insumos para los equipos”.

Los pasos a seguir para el desarrollo de un modelo cartográfico se muestran en la figura 3.4.

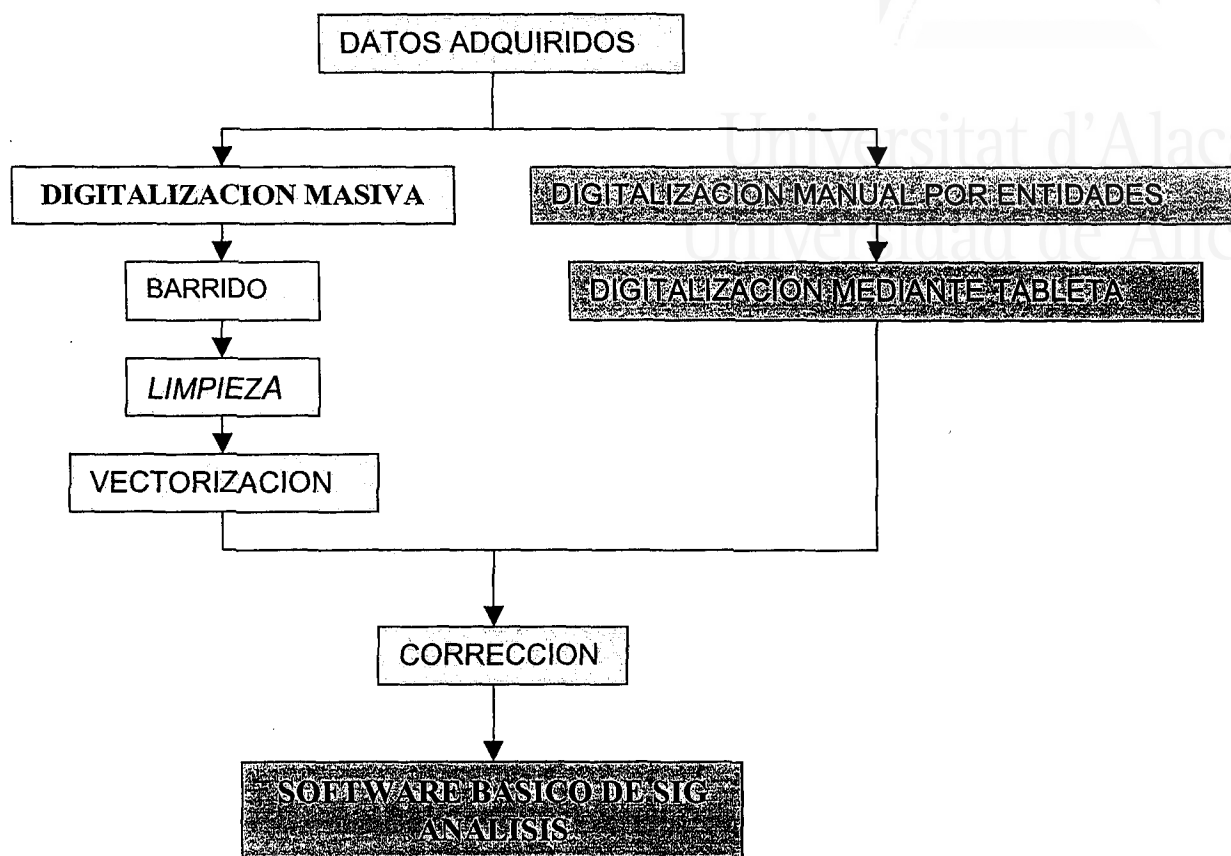
Figura 3.4 Pasos a seguir en el desarrollo de un modelo cartográfico



1. Definir los objetivos específicos del modelo.
 - Propósitos
 - Resultados esperados (salidas digitales)
2. Seleccionar los datos requeridos.
3. Definir criterios, reglas, decisiones, ponderaciones y los procedimientos analíticos.
4. Aplicarlos en forma de diagrama de flujo e implementarlos.
5. Evaluar los resultados (Evaluar si se cumplieron los objetivos).
6. Revisar el modelo.
7. Repetir el proceso donde se requiera.
8. Salida para el usuario.

El esquema tecnológico de la entrada de datos se describe siguiendo los pasos mostrados en la siguiente figura 3.5.

Figura 3.5 Esquema tecnológico de la entrada de datos



Para organizar el control de las Bases de Datos Digitales, se recomienda llevar esta información mediante un modelo similar al siguiente:

MODELO PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE BASES DE DATOS DIGITALES

Nombre de la base (con la extensión):

Base de datos Espaciales o Geográficos:
 Vectorial:

Estructura Raster:

Alfanuméricos o de Atributos:

Descripción:

Objetivo para el cual fue creada:

Fuente de la digitalización:

Escala de la fuente:

Otras escalas en formato digital:



Sistema de coordenadas / Proyección:

Entrada con scanner: tableta digitalizadora:

En el caso de entrada con scanner, describir el proceso de entrada hasta la obtención del formato actual de la base de datos especificando **software y formatos de la digitalización:**

En el caso de tableta digitalizadora: Software / Formato con el que se digitalizó:

Otros formatos en que está almacenada:

Accesibilidad:

Relación de Capas de dibujo / Campos de atributo:

Nombre Descripción Tipo (Areal, Lineal, Puntual)

Localización:

Contactar Nombre:

Realizado por:

Después que han quedado bien definidos los datos involucrados en la aplicación, se pasa a la entrada de los mismos a las Bases de Datos Digitales:

Si estos datos se encuentran en formato digital, entonces hay que ocuparse de que sean interpretados por el software en que se manejarán, se analizarán y se desplegarán. Hay que dominar los tipos de formatos en que trabaja este software y las vías de transferencia de los formatos fuentes de los datos a los formatos del SIG, en caso de que sean diferentes.

Si los datos están en formato analógico, entonces es necesario digitalizarlos de algún modo. Los datos de atributo pueden ser entrados a través del teclado. Los datos espaciales pueden digitalizarse de forma masiva o manual, entidad por entidad.

Una forma de digitalización masiva es mediante un barredor digital o *scanner* que almacena los mapas compuestos por las entidades espaciales en forma de imágenes, cuyo elemento discreto esencial es el píxel. Los *scanners* son manejados a través de programas que permiten la selección de los parámetros del barrido, entre ellos: la resolución, el tamaño, el brillo, el contraste, entre otros.

Una vez hecha la transformación de los datos espaciales de un formato analógico a uno digital, puede pasarse a la limpieza de la imagen digital obtenida, mediante programas de proceso digital de imágenes. Entre estos podrían citarse paquetes como el *Aldus Photo Styler*, *Corel Photo Paint*, *Adobe Photo Shop*, etc. Durante la limpieza, la imagen queda libre de toda una serie de "impurezas" o "ruidos" que pueden surgir durante el barrido. Por ejemplo, una mancha o polvo en el mapa analógico puede generar durante el barrido píxeles erróneos que no tienen que ver con el contenido de interés a digitalizar.

La imagen limpia puede pasar al proceso de vectorización, donde las líneas, puntos y áreas, compuestas por un conjunto de píxeles pasarán a ser declaradas como: vectores, conformados por una serie de vértices con coordenadas de localización unidos por segmentos de rectas; vectores, conformados por una serie de vértices con coordenadas de localización unidos por segmentos de rectas, con coordenadas de inicio y fin iguales, constituyendo entidades cerradas; y puntos vértices con coordenadas de localización, respectivamente.

La vectorización de las entidades espaciales de la imagen puede realizarse de manera automática, semiautomática o manual. La primera implica que el proceso descrito anteriormente se realice de forma totalmente automatizada por un software. Para este fin se emplean sistemas como *Corel Trace*, *Acad Tracer*, *Telemap Vect*, etc. En la segunda, el software requiere de la asistencia del operario para la indicación de ciertas decisiones; por ejemplo, la indicación de la continuidad de la vectorización de una línea después de la presencia de un cruce. Este tipo de vectorización, generalmente, lo consideran los mismos sistemas que manejan la forma automática. En la tercera variante, el operario de un software tipo CAD, genera los vectores sobre la imagen colocada de fondo, de forma análoga a como un operario digitaliza un mapa analógico sobre una tableta. El paquete *AutoCAD*, en su versión R14; *Corel Draw*, *Telemap CAD* y *MapInfo*, son ejemplos de programas que incluyen esta opción de vectorización.

El mapa vectorial obtenido es entonces corregido en el ambiente CAD que se trabaje. Las correcciones tienen que ver con la edición de los elementos gráficos y el empleo de

las opciones de copiar, eliminar, agregar y, en general, transformar o producir cambios en ellas, según los casos.

A continuación, se pasa a la georreferenciación del mapa vectorial, que es el proceso mediante el cual, las entidades espaciales del mapa adquieren coordenadas que las ubican sobre la superficie terrestre en un Sistema de Coordenadas dado. Este proceso se lleva a cabo en los programas básicos de SIG o mediante programas complementarios antes de ser introducidos los mapas en estos. Por ejemplo, el módulo *DXF Manager* (GeoCuba) puede realizar este proceso.

A partir de ese momento, el mapa puede pasar a formar parte de la base de datos manejada por el software para SIG que se emplee.

3.2 Diseño del Sistema de Información Geográfica Aplicado al Medio Ambiente Costero en el sector comprendido entre la Ensenada de La Coloma y la Ensenada de Cortés

El término “**medio ambiente**” es reconocido como un sistema complejo formado por distintos elementos: abióticos, bióticos y socioeconómicos con los que el hombre entra en contacto, utilizándolos para fines diversos, a los que él se adapta y/o transforma para la satisfacción de sus necesidades. Es un sistema abierto, de formación histórica, (Bucek et al.,1983), flexible en sus límites y con expresión espacial, (Martínez et al., 1997); conformado como producto de las relaciones multilaterales entre la naturaleza, la economía y la población, de relaciones internas dentro de la sociedad y la naturaleza, por tanto, está conformado por tres elementos que se interrelacionan entre sí: el natural, el económico y el social (ampliado en el Capítulo I), de aquí que todo estudio relacionado con el medio ambiente debe partir de la aplicación del enfoque sistémico mencionado, el cual posibilita la investigación compleja de dicho sistema.

Son numerosos los espacios naturales en la provincia Pinar del Río que poseen un incalculable valor desde el punto de vista de su conservación y diversidad de sus recursos faunísticos, florísticos, paisajísticos, arqueológicos, socioeconómicos y culturales, los que requieren de un manejo acorde con su importancia para garantizar un desarrollo sostenible en el territorio.

Para ello, las tecnologías avanzadas (SIG, la Teledetección, la fotogrametría digital, etc) juegan un papel decisivo como herramientas que ayuda a elevar el conocimiento de las interrelaciones que se producen entre el medio como soporte físico y la actividad antrópica que lo transforma, propiciando una ágil toma de decisiones por parte de las administraciones para el manejo más adecuado de los recursos naturales y socioeconómicos del territorio, además de facilitar la evaluación, gestión y el manejo en general de los mismos.

Por consiguiente, aquí se propone la idea del diseño de una aplicación SIG para la gestión medioambiental y las tareas relacionadas con el desarrollo sostenible del sector costero al suroeste de Pinar del Río, que es la zona de trabajo de la presente tesis, cuyo **objetivo** es:

"Desarrollar una aplicación de Sistema de Información Geográfica (**SIGMAC**) en interés de los estudios medio ambientales y de las tareas vinculadas al estudio costero de una parte del territorio pinareño, con el fin de apoyar las actividades científicas, la gestión y la toma de decisiones por parte de la Delegación Territorial CITMA-PR y el Gobierno Local, en la esfera socioambiental en el sector seleccionado, el cual puede ser aplicado con carácter generalizador a otras zonas de similares características y, de esta forma, coadyuvar al mejor manejo de sus recursos naturales y al planeamiento más eficiente y racional de un desarrollo sostenible. El **SIGMAC** debe dar también la posibilidad de agilizar los trabajos de diagnósticos en áreas de alta fragilidad ecológica y el cumplimiento de otras tareas relacionadas con las misiones de la Delegación Territorial CITMA-PR".

3.2.1 Fundamentación teórica y metodológica del diseño del SIGMAC

Diseñar, desarrollar e implementar una aplicación SIG de interés para los análisis socioambientales y de manejo de los recursos naturales, principalmente del recurso manglar en el sector seleccionado para la elaboración de la presente tesis, se explica por distintas razones; entre otras:

- Los datos geográficos y espaciales están deficientemente mantenidos.
- Los mapas y las estadísticas vinculados con ellos están desfasados

- Determinados datos e información georreferenciados son inexactos.
- No hay estándar en la información territorial.
- Los datos geoespaciales son inconsistentes.
- No hay servicio de recuperación de datos.
- Existen ciertas limitaciones en la actividad de compartir informaciones y datos.

Como se ha visto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son, desde el punto de vista técnico y metodológico, un conjunto integrado de hardware y software, con una base de datos cartográfica temática, vinculada con una base de datos alfanumérica, las dos en formato digital, que están diseñados para asimilar la captura, manejo, almacenamiento, estructuración, análisis, modelado, y el despliegue de datos o informaciones georreferenciados. A este sistema se le debe agregar uno de sus elementos principales: *los usuarios*. Este concepto se amplía por otro que incorpora los conceptos de medio ambiente y desarrollo sostenible: *"Es un sistema de datos destinado al manejo del medio ambiente para un desarrollo sostenible, para el análisis de datos, para su planeamiento, para la toma e implementación de decisiones"* (Abel, D.J., et.al.; 1992; Barredo Cano, J. I. (1996); Bosque Sendra, J.; 1992; otros).

Hoy en día, los SIG han llegado a ser una herramienta fundamental en la transferencia de conocimientos del mundo real a modelos que son utilizados en el análisis y toma de decisiones en muy diversas aplicaciones dentro de campos como la gestión de los recursos naturales y el medio ambiente, la planificación urbana, etc (Bosque Sendra, J.; 1992).

En la Agenda 21, *"Programa de Medio Ambiente y Desarrollo"*, se tuvo en cuenta la necesidad de incrementar el desarrollo de la cartografía temática y el uso de los SIG para apoyar las tareas vinculadas con el estudio del medio ambiente y el desarrollo sostenible, poniéndose en evidencia que estas tareas sólo es posible llevarlas a cabo sobre la base de la obtención de información geográfica en forma de mapas temáticos y sistemas de información digitales, en interconexión de imágenes obtenidas por diversos

sensores remotos de Teledetección de la Tierra, que permiten el continuo monitoreo de extensos territorios.

El SIGMAC, que se propone en la presente tesis, se puede catalogar como una infraestructura de información georreferenciada, con sus componentes: infraestructura social, infraestructura de medio ambiente, infraestructura urbana, infraestructura económica, infraestructura educativa, etc. A fin de lograr que esta infraestructura funcione eficientemente, sería necesario:

- Establecer la política de datos abiertos y uso de datos/información compartidos: los datos e informaciones deben ser accesibles para cualquier usuario, libremente o a un bajo costo, sin restricciones. A fin de adoptar el uso operacional de datos geoespaciales, debería compartirse información y experiencia entre los usuarios.
- Prácticamente, “imponer” la normalización: deben desarrollarse estándares para formatos y estructuras de bases de datos digitales, que permitan la transferencia y el intercambio de datos geoespaciales. (al estilo propuesto por el consorcio OpenGIS)
- Conexión en red: los sistemas de computación, así como las bases de datos, deben vincularse unos a otros, formando una red, tanto para un mejor acceso como para su mejor servicio.
- Enfoque multidisciplinario: dado que los SIG tienen un carácter multidisciplinario, los científicos, ingenieros, técnicos y administrativos de los diferentes campos de estudio deben cooperar entre sí para lograr objetivos comunes o relacionados.
- Procedimiento interoperativo o de geoproceso integrado: el SIGMAC debería integrarse con otros procedimientos tales como CAD, computación gráfica, proceso de imágenes, modelos de elevación digital, percepción remota, GPS, fotogrametría digital, etc.

El flujo metodológico depende de la existencia de todas las condiciones tecnológicas y materiales que conformarían los elementos de un proceso sistémico que permitiría obtener los resultados esperados.

El diagrama de flujo tecnológico general que se propuso para el establecimiento del SIGMAC se muestra en la figura 3.6 Como se puede apreciar, se presupone que existen imágenes de percepción remota y los medios indispensables para su proceso digital, con el fin de alimentar las bases de datos del SIG. No se descarta el uso de otras fuentes de datos en formato analógico, pero que necesariamente deben ser transformadas a formato digital, utilizando para ello los medios técnicos necesarios.

Figura 3.6: **Diagrama del flujo metodológico a emplear**

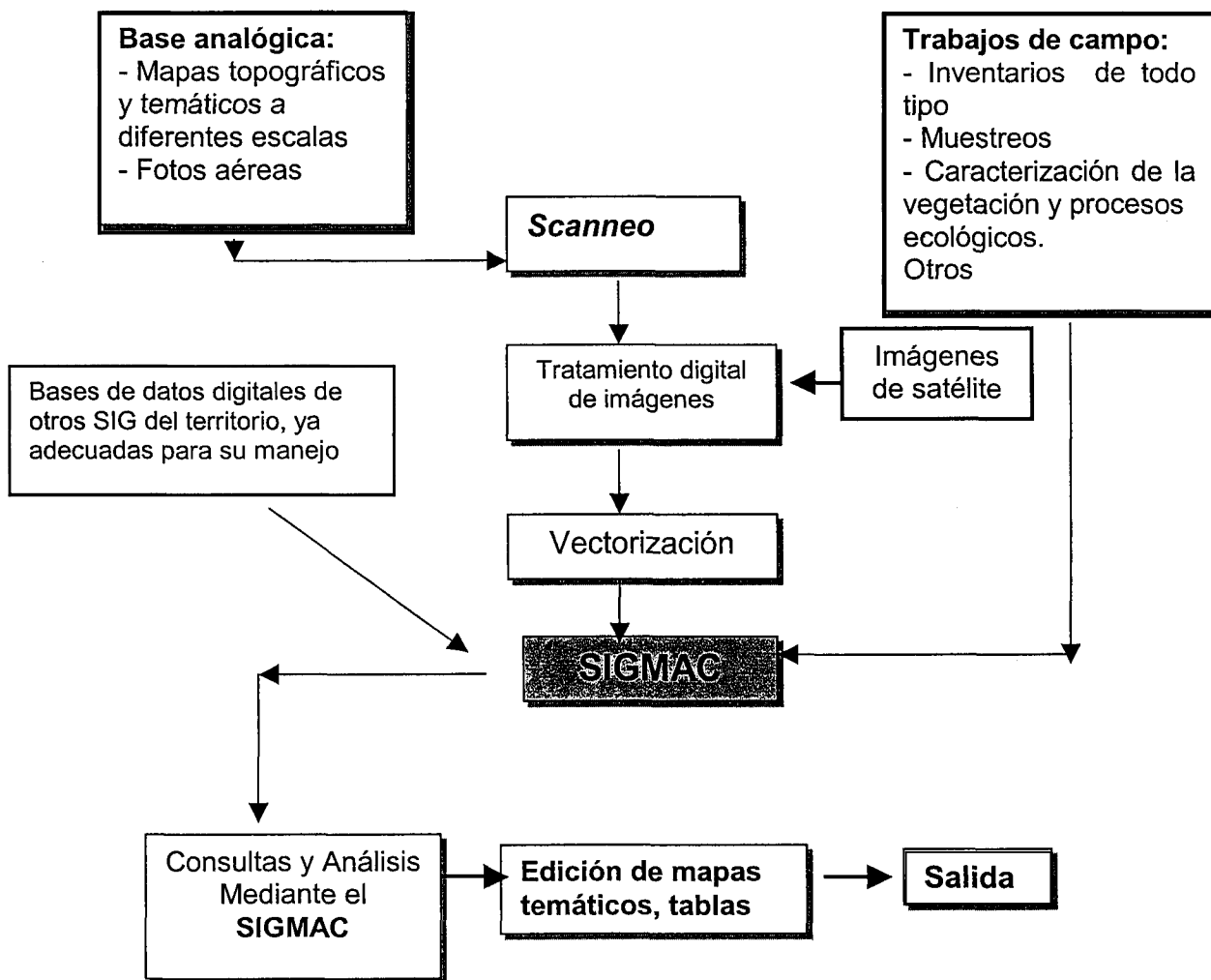


Diagrama de flujo esquemático de producción de mapas temáticos digitales

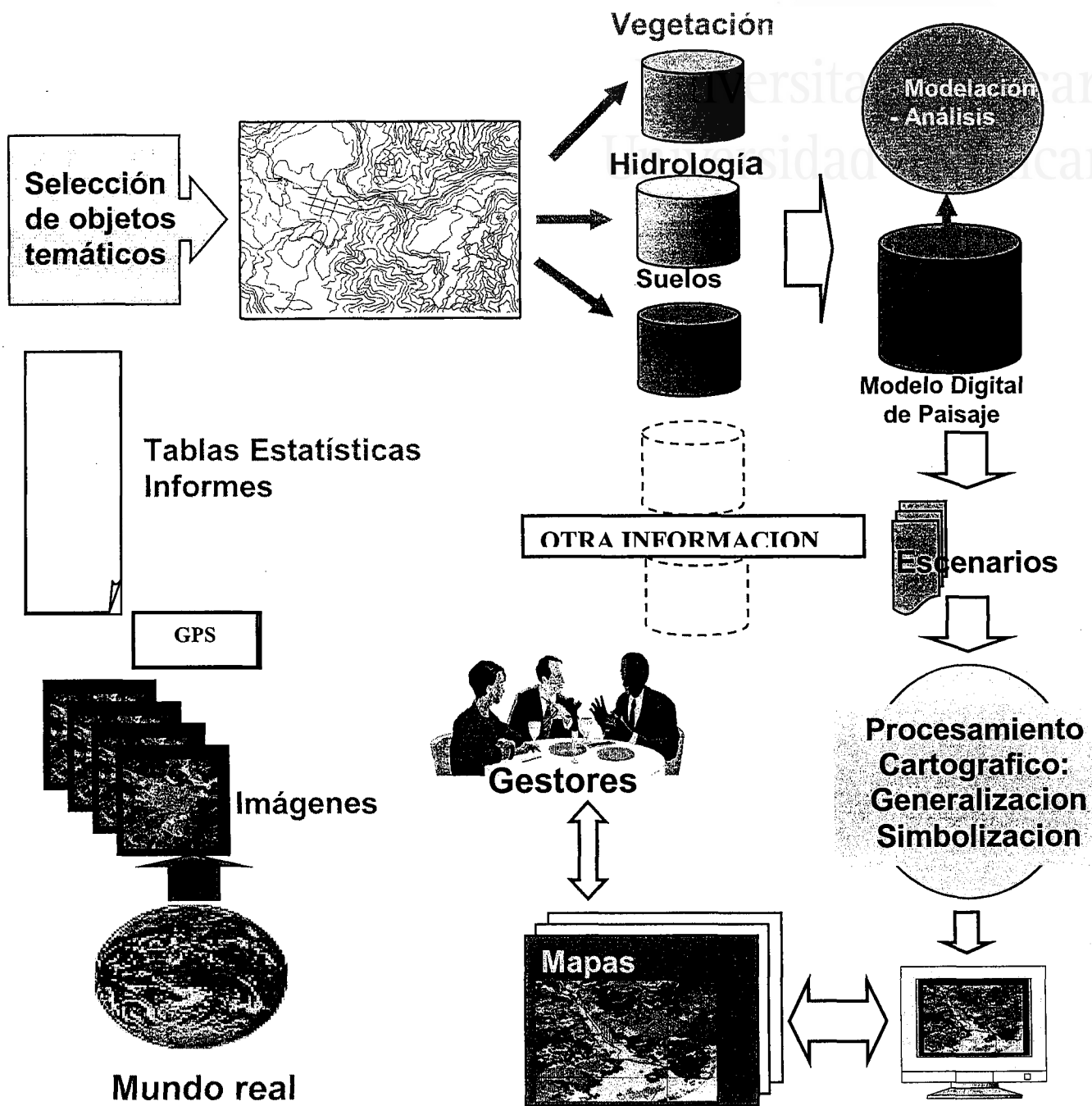


Figura 3.7: Diagrama del flujo esquemático de producción de mapas temáticos digitales.

No obstante, entre los elementos que componen el SIG, el fundamental resulta ser la Base de Datos y su parte más débil en la práctica se halla en la explotación, mantenimiento y actualización de éstos por un usuario verdaderamente interesado en

su manejo y que sea un profundo conocedor de sus posibilidades de uso. En la figura 3.7 se muestra el gráfico, según la autora, del flujo esquemático de producción de mapas temáticos digitales.

La tarea consiste en pasar de la realidad (del mundo real) a un modelo, que posee una información sobre aquel que es capturada mediante estudios in situ y/o extraída de informes, tablas, y otros documentos elaborados mediante investigaciones; por medio de imágenes de percepción remota, a través de procesos fotogramétricos y de proceso digital de imágenes; con Sistemas de Posicionamiento por Satélite y otras vías de adquisición de datos.

Teniendo en cuenta las razones expuestas anteriormente para la aplicación de un SIG, el diseño del SIGMAC debe:

- Dar respuestas al amplio espectro de demandas de carácter territorial en el campo medio ambiental.
- Establecer un modelo y una infraestructura capaz de contener cualquier tipo de información para ser integrada de acuerdo a las necesidades actuales.
- Ofrecer soluciones prácticas a cualquier tipo de demanda de carácter espacial relacionada con la gestión medio ambiental.
- Almacenar información georreferenciada en el campo físico geográfico, ambiental y socioeconómico.
- Evaluar las condiciones medioambientales y su monitoreo sistemático.
- Desarrollar en conjunto con otras entidades locales y nacionales un sistema territorial de gestión con el empleo de los SIG que sirva de referencia para el país y el Caribe.
- Incorporar paulatinamente el uso de los SIG a la gestión medioambiental y a las tareas del desarrollo sostenible de los ecosistemas costeros.

Por lo tanto, el **SIGMAC** será una herramienta muy importante en la toma de decisiones para el manejo medio ambiental y la política de desarrollo sustentable de las zonas costeras. La toma de decisiones, que incluye la definición de políticas, planificación y administración puede ser implementada interactivamente teniendo en consideración las

fuerzas motrices humanas, a través de un consenso público, las cuales incluyen: crecimiento de la población, salud y bienestar, tecnología, política, economía, etc, por las cuales la sociedad establece objetivos y metas en el mejoramiento de la calidad de vida.

El presente SIG Medioambiental Costero (SIGMAC) estaría integrado por los siguientes módulos, en correspondencia con los distintos niveles de la gestión ambiental, como puede apreciarse en la figura 3.8:

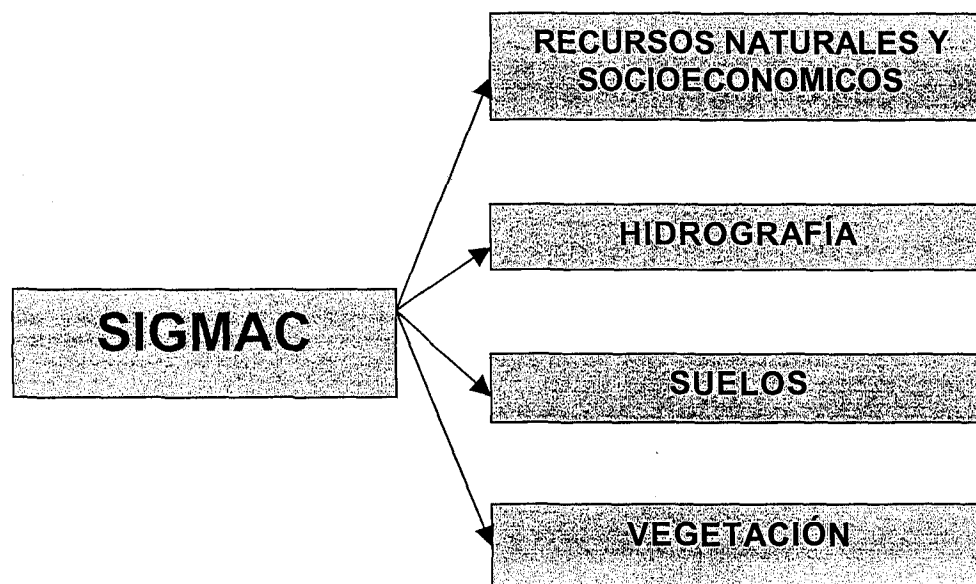


Figura 3.8: Módulos por los que estaría integrado el SIGMAC.

El **SIGMAC** deberá permitir desarrollar, entre otras, las siguientes tareas vinculadas con la gestión medio ambiental:

- Evaluación del impacto medioambiental.
- Control de la contaminación.
- Gestión de los residuales urbanos e industriales.
- Gestión de los recursos naturales.

El **SIGMAC** permitirá, entre otras aplicaciones, realizar:

- 1- Análisis del uso de los recursos a diferentes niveles.
- 2- Cálculos geográficos.
- 3- Informes especializados y actualizados para los distintos fines que se requieran.

- 4- Detecciones y seguimiento de fenómenos o procesos naturales.
- 5- Evaluaciones de la capacidad de uso y aptitud de los recursos.
- 6- Evaluaciones ambientales relacionadas con su calidad.
- 7- Estudios de impactos.
- 8- Pronósticos de la evolución de fenómenos naturales.
- 9- La conservación de la memoria cartográfica sobre la región.
- 10- Recopilaciones de información en formato digital.
- 11- Modelos de riesgos ambientales.
- 12- Evaluación de daños medioambientales.
- 13- Otras tareas imprevistas y virtualidades no planificadas.

3.2.2 Fuentes de datos del SIGMAC

El sistema trabaja actualmente con diferentes fuentes de datos, (en los dos modelos geométricos de datos: vectorial y *raster* o matricial), obtenidos estos últimos, a partir de tecnologías avanzadas empleadas en la captura de datos georreferenciados y la información adquirida mediante estudios vinculados con la naturaleza, la economía y la sociedad. Entre ellas:

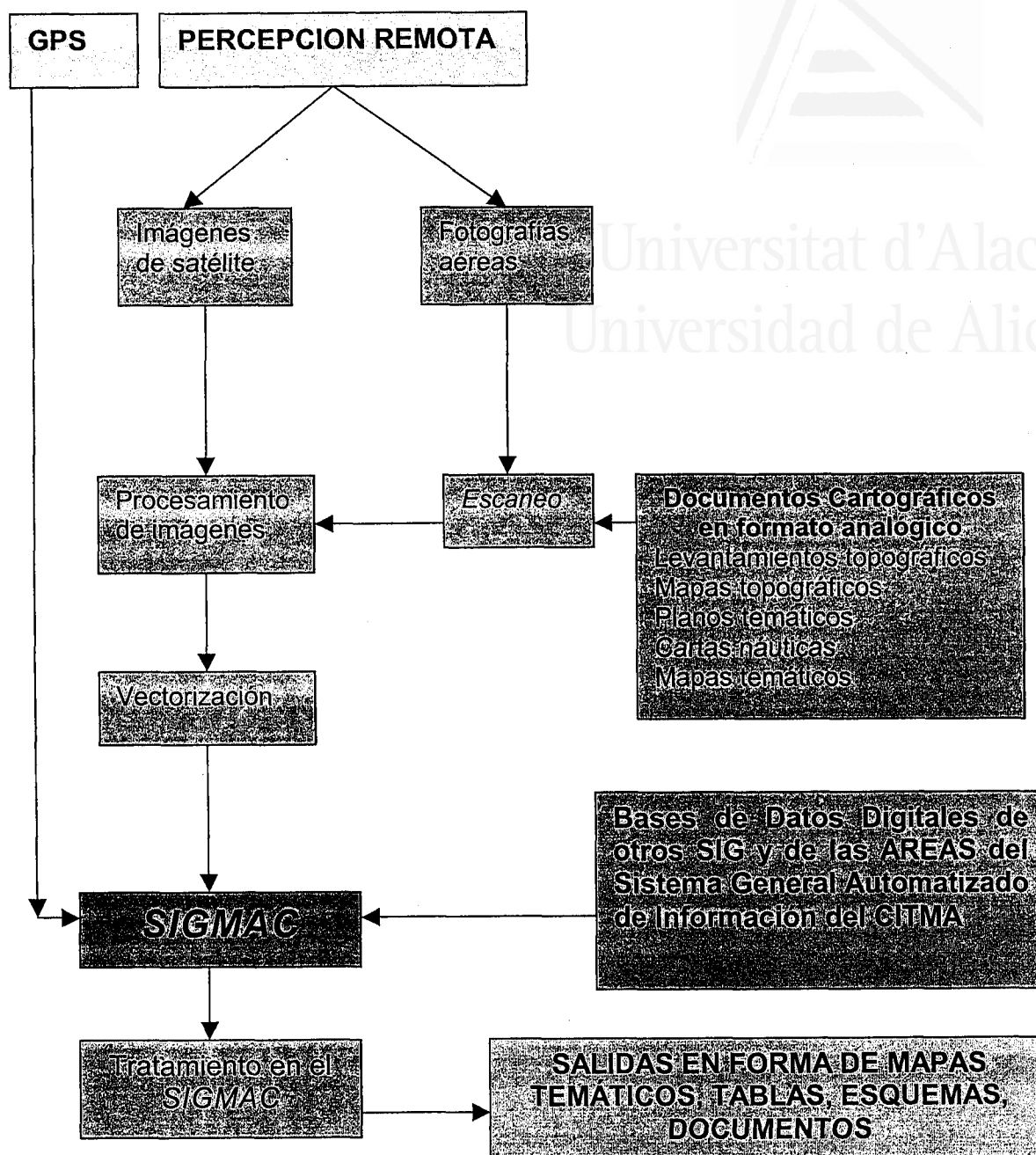
- Las informaciones existentes que se encuentren cartografiados o no.
- Los que estén en formato digital, los cuales fueron organizados, estructurados y seleccionados para su uso en el SIGMAC, para posteriormente ser georreferenciados. Más adelante, se implementaron las correspondientes bases de datos, considerando la escala espacial a la que están referidas, suministrados por sensores remotos u otros sistemas de monitoreo como el GPS.
- Aquellos que sean generados por la utilización del propio Sistema.

Como se ha visto, en esta primera etapa el desarrollo del Sistema centró sus esfuerzos en la recuperación de la información, que incluye la digitalización masiva ("escaneo") y vectorización de las imágenes (tanto documentos cartográficos distintos como imágenes de percepción remota en formato analógico), con la creación de las correspondiente interrelación bases de datos alfanuméricas asociadas a ellas, de manera que permita acumular un volumen de datos importantes para su posterior análisis. La estandarización y homogenización de bases de datos temáticos es un proceso imprescindible en la etapa inicial.

Gráficamente, se muestra en la figura 3.9 las distintas fuentes de bases de datos que alimentaron y alimentarán al **SIGMAC** en un futuro. A las fuentes de datos mencionadas anteriormente se tendría que agregar aquellas que se originen por distintas instituciones.

El éxito del desarrollo del SIGMAC estará dado por:

- Asegurar el ingreso de datos al sistema.
- Mantenimiento de la Base de Datos (actualización y calidad).
- Apoyo de los jefes principales y de todos los especialistas.
- Selección de los software y hardware adecuados.
- Datos compartidos.
- Preparación del personal.



FUENTES DE DATOS DEL SIGMAC

Figura 3.9: Gráfico de las distintas fuentes de bases de datos que alimentarían el SIGMAC

3.2.3 Indicadores generales del SIGMAC

Las partes temáticas principales que integran el sistema constituyen los *elementos geográficos básicos o medio ambientales*; considerándose los siguientes en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Elementos básicos del SIGMAC

Relieve	Silvicultura
Suelos	Hidroeconomía
Atmósfera	Industria
Agua	Transporte
Biota	Recreación
Asentamientos humanos	Población
Agricultura	Otras

Parte de estos elementos ya fueron señalados anteriormente y son los componentes de los tres subsistemas antes mencionados. Ellos aparecen esquemáticamente reflejados en la figura 3.10 siguiente:

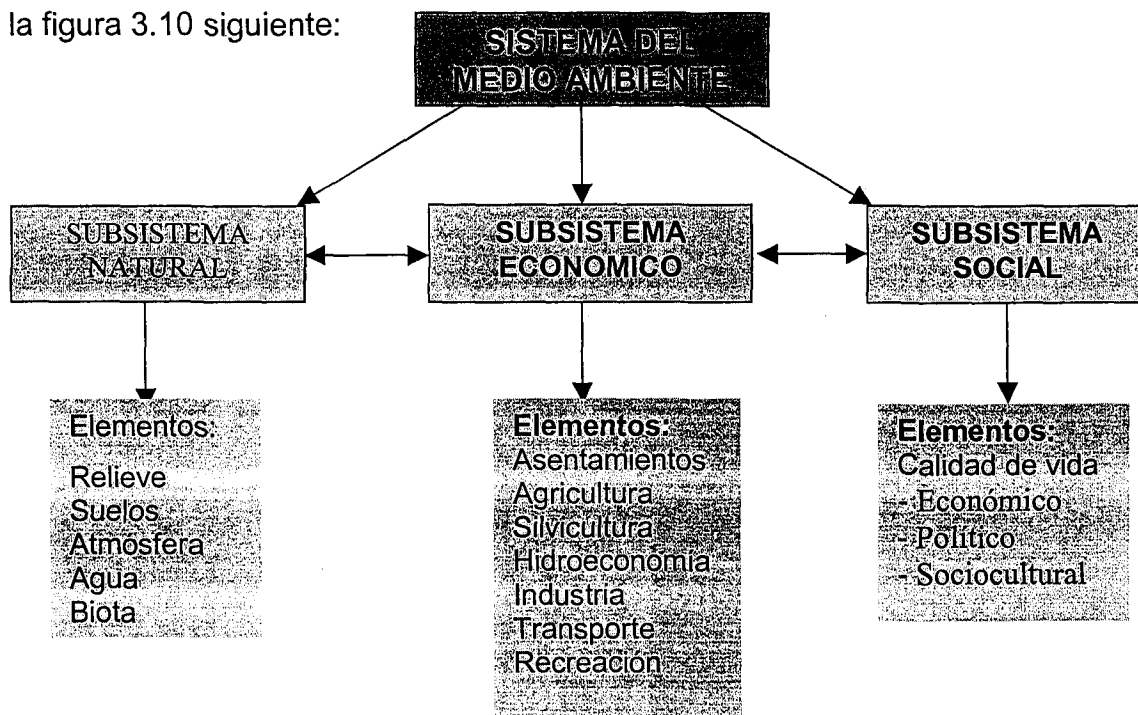


Figura 3.10 Sistemas que componen el Medio Ambiente del área de estudio

Una cuestión fundamental en el análisis ambiental es la identificación de los elementos que deben ser tomados en cuenta en el medio ambiente, definir los indicadores que los representarán, así como los índices que los cuantifiquen.

En términos generales, se denomina **indicador** a una observación empírica que sintetiza aspectos de un fenómeno, que resulten importantes para uno o más propósitos analíticos y prácticos.

Si bien el término **indicador** puede aludir a cualquier característica observable de un fenómeno, suele aplicarse a aquéllas que son susceptibles de expresión numérica. Los indicadores pueden ser expresados en los términos absolutos.

Los indicadores ambientales son pues un **sistema de parámetros** que reflejan las características cualitativas de los impactos, cambios y consecuencias, así como su distribución y magnitud. Deben reflejar, además, la dinámica, la durabilidad, la velocidad y las tendencias del desarrollo (Alvarez Portal, 2001). Estos indicadores varían según el objetivo, las condiciones o el problema que se esté analizando.

Durante el coloquio celebrado en 1995, en Santiago de Chile, sobre *"Información e indicadores de medio ambiente para los países de América Latina y el Caribe"*, se llegó a un acuerdo, entre los países asistentes, acerca de una lista preliminar de temas prioritarios para el desarrollo futuro de indicadores ambientales a escala regional, reunidos en 5 grupos, que serían enriquecidos con posterioridad:

- **Recursos naturales: balances físicos**
 - Recursos hídricos. Agua.
 - Suelos. Desertificación, acidificación, salinización, pérdida de suelos.
 - Ecosistemas. Recursos forestales, deforestación, extinción de especies.
- **Impacto ambiental**
 - Energía. Consumo.
 - Industrias en general.
 - Agroindustrias.
 - Agropecuario.
 - Comercio internacional. Exportación de recursos naturales.
 - Turismo.
- **Calidad de los elementos**

- Contaminación de aguas. Tipo de contaminantes, fuentes, cuerpos de agua.
- Contaminación atmosférica. Urbana. Tipo de emisiones.
- **Factores socio ambientales**
- Población y asentamientos humanos
- Contaminación atmosférica urbana
- Residuos sólidos domiciliarios
- **Política ambiental**
- Educación ambiental
- Legislación

3.2.4 Adquisición de los datos e informaciones necesarias para el SIGMAC

Para que el SIGMAC se ajuste a los requerimientos para los cuales se ha desarrollado, fue necesario que desde el principio contara con un nivel organizativo adecuado y que el proceso de adquisición de la información fuese lo más riguroso posible, para lograr una buena calidad en los resultados posteriores. En realidad, debe existir un personal asignado para la selección de la información adquirida por diferentes métodos, para la operación del equipamiento y realización de los procesos, procedimientos, etc, pero en este caso fue la autora la que asumió esta tarea.

La adquisición de datos no es más que el procedimiento que permite obtener los datos de distinta índole y procedencia con que trabajará el Sistema. Para el caso de las aplicaciones del SIGMAC, como ya se señaló, los datos fueron de distintas fuentes. Estas se pueden clasificar como datos de adquisición interna (personal o de la UPR) y aquellos que provienen de otras instituciones y que fueron adquiridos por la autora mediante distintas vías y procedimientos.

Cabe señalar que la adquisición no es simplemente reunir información de cualquier tipo. Esta actividad es muy importante, ya que los datos son la "materia prima" de todo SIG y no puede improvisarse, sino que debe hacerse en función de una política estrechamente relacionada con los intereses y objetivos del SIGMAC en función de su utilización posterior. Por esto, siempre se insiste en que el usuario debe ser muy concreto al plantear sus necesidades informativas, para que el SIG tenga el diseño

adecuado y responda a las expectativas por las que se ha creado. En este caso, los criterios e intereses son del mismo ejecutor que es a la vez el usuario del SIG: la autora de la tesis.

En el proceso de la adquisición informativa del SIGMAC se consideraron las siguientes etapas:

- Selección de la información
- Proceso de adquisición (captura)
- Entrada

Mediante el proceso de selección se eligieron los documentos o materiales (mapas, bases de datos estadísticas, imágenes de percepción remota, etc) que podrían ser empleados para alimentar las bases de datos del SIGMAC. En otro caso, es necesario designar al personal idóneo en el campo correspondiente, teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios, la esfera temática a tratar y la existencia de recursos humanos capaz de acometer la tarea. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo la misma en comisiones o grupos de especialistas de cada temática, preferiblemente que conozcan la actividad de bases de datos y SIG.

En el transcurso del desarrollo del SIG se tuvo en cuenta la estandarización de los datos, para que no existiera duplicidad en los mismos y que sean actualizados. Un dato para inventario debe tener una cualidad principal: ser actual. No obstante, es posible contar con bases de datos de fechas anteriores para realizar análisis espacio – temporales. Esta es una tarea que requiere método y organización para discriminar aquellos atributos e indicadores que no sean de interés verdadero y exige que el especialista se mantenga regularmente actualizado.

La adquisición no puede realizarse sin planeamiento, al azar, sino mediante un análisis profundo de la información y datos necesarios y por elecciones sucesivas. El conjunto de estas decisiones constituye la política de adquisición, que está en dependencia fundamentalmente de los recursos disponibles, los objetivos, las prioridades y la naturaleza de los servicios para los que está destinado el sistema. Esta tarea la realizó la autora de la tesis asesorándose con otros especialistas.

Se trató por todos los medios de que en las Bases de Datos del SIGMAC estuviera la información que fuera exclusivamente necesaria, sin redundancias. Los datos que no aportan nada al Sistema no fueron adquiridos y mucho menos incorporados al Sistema. Un motivo fundamental es el costo de la información a adquirir y el tiempo destinado a su preparación y carga al sistema.

Por lo general, en la práctica existe un grupo responsable de la adquisición, que es el que establece los criterios de selección, y se dedica a la localización de las fuentes de datos de interés para el sistema, con el fin de obtener las mismas. Además, debe desarrollar y perfeccionar los procedimientos para la adquisición de la información (textos, monografías, publicaciones periódicas, anuarios, mapas, etc.). En la composición de este grupo debe tenerse en cuenta un adecuado equilibrio por especialidades.

El diseño y la puesta en funcionamiento del **SIGMAC** permitirá, a medida que sea necesario, ir actualizando la información original mediante los procedimientos anteriormente mencionados.

Algunos temas de información inicial actualizada que debe integrar la Base de Datos del **SIGMAC**:

- División político administrativa de la provincia (Municipios, Consejos Populares)
- Evaluación del relieve
- Tipos de costas
- Temperatura media anual del aire
- Amplitud y carácter de la marea. Estaciones mareográficas
- Tipos de los suelos
- Vegetación actual
- Vegetación potencial
- Distribución de la población
- Uso de la tierra
- Cuencas y subcuencas hidrográficas
- Focos contaminantes
- Otros temas auxiliares

3.2.5 Características de los datos

Los datos son proposiciones empíricas particulares que se refieren a experiencias efectuadas, que se acumulan para ser utilizados como evidencias una vez interpretados con ayuda de alguna teoría, Bunge, 1972 citado por Flores, F. 1992. Los datos que la

ciencia utiliza son los que se refieren a hechos objetivos y, en el caso específico de la Geografía, históricamente han estado relacionados con la descripción de los espacios estudiados.

Puede decirse que los datos geográficos son entidades espacio – temporales que describen o cuantifican la distribución, el estado y los vínculos de los distintos fenómenos naturales y sociales. Por regla general, los datos geográficos se expresan gráficamente en mapas, y se representan por signos convencionales especiales denominados signos cartográficos, mediante la modelación cartográfica.

Este elemento, el dato espacial, es el que diferencia a los SIG de otras bases de datos especiales, representando el centro en torno al cual giran todas las posibles aplicaciones de los SIG. Así, tenemos que el dato espacial contiene, en su acepción más elemental, características de Localización (X,Y,Z), tipo de Característica Temática (CT), así como el parámetro Tiempo, (t) en las cuales se asienta la base de todas las operaciones posibles a llevar a cabo en un SIG ((Barredo Cano, 1996).

La abundancia de información generada como resultado de los adelantos científico-técnicos y las relaciones económicas hombre – espacio aconsejan el empleo, y en la Geografía se va haciendo imprescindible, de la tecnología informática para la manipulación de los datos utilizando las técnicas de análisis y clasificación que requieren alta velocidad de cálculo y precisión.

El SIGMAC sostiene en su diseño, como ideología del sistema, el tratamiento simultáneo con datos espaciales e información descriptiva de datos no gráficos (información estadística) referida a dichos datos o entidades espaciales. Como en todo SIG, las entidades (datos) se describen por sus atributos temáticos, por su localización geográfica y su configuración espacial y, en casos específicos, por su carácter espacio-temporal.

Las bases de datos del SIGMAC se pueden considerar como su espina dorsal y de su estructura y representatividad dependerá la validez del resultado final (producto

cartográfico). Así, de la calidad de los datos introducidos dependerá la calidad de los resultados de la explotación del mismo. Un SIG no se crea para confeccionar mapas digitales. Esto se puede hacer con otros tipos de software destinados para la cartografía digital. Es sabido que un SIG se desarrolla e implementa cuando se pretende llevar a cabo distintos análisis en los que intervienen las entidades espaciales digitales en interconexión con una base de datos alfanumérica especializada, vinculada con aquellas y se desea obtener una representación cartográfica de los estudios y análisis realizados.

Los datos son el elemento fundamental en los SIG, ya que sobre ellos se realizan todas las operaciones posibles, además de requerir un mayor esfuerzo para su implementación. Se ha calculado (Barredo Cano, 1996) que obtener un conjunto de datos operativos para un SIG, abarca alrededor de un 70% del costo total de un proyecto; pero el tiempo destinado a esta tarea se reduce dramáticamente, cuando se cuenta con el personal capacitado, bien organizado y dotado de las herramientas de captura de información georreferenciada.

3.2.6 Definición de los tipos de datos. Conservación. Formatos. Escalas

Los datos geográficos son, pues, datos espaciales y su clasificación más común es simplemente topológica, prescindiéndose de la forma, el tamaño o los atributos temáticos. Sólo se tiene en cuenta el número de sus dimensiones (Cebrián J. A., 1992). Así, como se ha visto, ellos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Puntuales o adimensionales
- b) Lineales o unidimensionales
- c) Superficiales o bidimensionales
- d) Volumétricos o polidimensionales

Vale repetir que debe tenerse muy en cuenta la disponibilidad de la información (datos) y la forma en que éstos se encuentran. Este es considerado por algunos autores como el *talón de Aquiles* de un SIG, ya que la proporción de información en formato digital (ya procesada para poder ser analizada) de que se dispone puede condicionar la efectividad del sistema como herramienta de planificación.

Ante la carencia de datos espaciales digitales puede optarse por:

- Realizar el proceso de digitalización de la información.
- Adquirir la ya existente, elaborada por otros especialistas para distintos SIG.

Además, mientras se está realizando el proceso de captura de la información, se debe estar atento para que este proceso se realice en la forma adecuada. Uno de los principios esenciales que caracteriza a la teoría sistémica de las ciencias geográficas (ciencias naturales y sociales), es la concepción del espacio y del tiempo como propiedades objetivas de los hechos geográficos, que se han desarrollado como resultado de los procesos de la propia evolución, dinámica y desarrollo de los fenómenos naturales y sociales.

Los datos geográficos, al recoger la información pertinente, participan también en las propiedades inherentes a los fenómenos que cuantifican o califican y en la dinámica peculiar de la envoltura geográfica. Los datos geográficos se “mueven” en el espacio y en el tiempo, esa es su dinámica o ritmo.

Existen dos tipos de dinámica natural: la cíclica y la periódica. Los datos que presentan una dinámica cíclica tienen una duración variable; los que tienen una dinámica periódica tienen los ritmos de la misma longitud (Mateo, 1984).

La dinámica de los procesos geográficos se manifiesta en los procesos atmosféricos, en el régimen hidrológico, en la formación del relieve, en el desarrollo de la población, en las formaciones sociales y en el estado ambiental.

Según su continuidad o duración pueden ser:

- Diarios
- Anuales (estacionales)
- Interseculares (decenas de años)
- Seculares y superseculares (centenas y miles de años)
- Geológicos (millones de años)

Si se tiene en cuenta que el SIGMAC deberá recoger todos estos tipos de información para ser almacenados en sus diferentes bancos de datos, la actualización de los mismos tiene que estar acorde con la naturaleza de la información que representan, incluyendo su evolución o dinámica temporal.

Para ello y sobre la base de las características a las que ya se ha hecho referencia, se puede establecer una gradación en categorías para clasificar la información (datos) según su dinámica:

- Muy alta
- Alta
- Alta – media
- Media
- Media – baja
- Baja
- Baja – muy baja
- Muy baja

La base de esta clasificación es el establecimiento de cambios según su proceso natural de autodesarrollo. Así, los geocomponentes de muy alta dinámica son aquellos cuyos cambios se producen anualmente y los que tienen una dinámica muy baja apuntan a una de componentes geológicos, casi estáticos a los efectos prácticos. Debe considerarse que los cambios en un elemento determinado pueden estar dados por ocurrencia de desastres o hechos que los hagan variar. Un ejemplo típico es el caso de los incendios forestales, que pueden ocasionar cambios bruscos en el estado de este tipo de cobertura.

Ahora bien, en ocasiones la actualización a veces hay que realizarla de manera diferente a la que le correspondería por su dinámica natural; por ejemplo, en el caso del cambio en la constitución de empresas agropecuarias o los datos de clima que se analizan en períodos de 30 ó 40 años, según acuerdo internacional. A continuación, en la tabla 3.4 se presenta la relación existente entre la categorización de la información y la periodización de su actualización.

Tabla 3.4: Relación entre la categorización de la información y la periodización de su actualización

Categoría (Dinámica)	Periodización (años)							
	1	3	5	10	15	20	>20	RL
Muy alta	X							
Alta		X						
Alta – media			X					
Media				X				
Media – baja					X			
Baja						X		
Baja – muy baja							X	
Muy baja								X

RL: Ritmo Lento

Tomando como base las categorías propuestas anteriormente y la actualización en función de la dinámica (los ritmos de cambio de los fenómenos geográficos), en un principio se sugiere una actualización periódica del SIGMAC.

En la tabla 3.5 se presenta la propuesta de adquisición de información y su actualización.

Tabla 3.5: Relación de posibles mapas temáticos a utilizar como bases de datos del SIGMAC, su clasificación según su dinámica y propuesta de actualización en años.

MAPA TEMATICO	Clasificación de los datos según su dinámica	Periodicidad de actualización del mapa (años)
División político administrativa	-	Según cambie
Geología	MB	RL 15
Hipsometría	M-B	10 -15
Evaluación del relieve para la agricultura y otros fines	M-B	10-15
Tipos de costas	M-B	10-15
Carso	M-B	10-15
Temperatura media anual del aire	B-MB	>20

Precipitación media anual	B-MB	>20
Insolación media anual	B-MB	>20
Condiciones climáticas anuales para la vida de la población	B	20
Regionalización climática general	B-MB	>20
Amplitud y carácter de la marea. Estaciones mareográficas	MB	10-15
Arrecifes coralinos	B-MB	>20
Suelos	M	10
Erosión actual	A-M	5
Salinidad	A-M	5
Agroproductividad	A-M	5
Vegetación actual	A-M	5
Vegetación potencial	A-M	5
Areas de alto endemismo y algunas de sus causas	A-M	5
Categorización de los paisajes para la conservación	M	10
Distribución de la población	A-M	5
Aguas medicinales	A	3
Recursos pesqueros marinos	M-B	10-15
Evaluación cualitativa de la tierra para uso agropecuario	A	3
Uso de la tierra	A-M	5
Industria electroenergética	A	3
Transporte	A	3
Medio ambiente	A-M	5
Areas protegidas	A-M	5

Un grupo de estos mapas temáticos fue realizado hace ya alrededor de 20 años por el Instituto de Geografía, incluyendo los atlas ya mencionados en el Capítulo 1 de la presente tesis; por lo tanto, algunos de ellos ya deben estar comprendidos en la etapa de actualización planteada en la tabla anterior propuesta. Lo mismo sucede con otros mapas temáticos y mapas bases, como los topográficos y cartas náuticas.

Las bases de datos geográficas en el **SIGMAC** están constituidas de las bases de datos espaciales y las bases de datos de atributos, que se encontrarán relacionadas mutuamente.

3.2.7 Bases de datos espaciales

Cada temática se expresó en la base de datos espaciales mediante entidades básicas (puntos, líneas y polígonos) que definen los espacios o elementos geográficos representados. Las entidades espaciales temáticas se agrupan en diferentes capas temáticas. Esta agrupación está dada por conveniencias en el manejo, análisis y representación de la temática abordada en la tesis.

Estas bases han quedado estructuradas como aparece en la tabla 3.6:

Tabla 3.6: Bases de datos espaciales

Nombre (Nemotécnico) del Subdirectorío en Disco	Descripción	Nombre (Nemotécnico) de la Capa	Tipo	Descripción
Base_física	Base cartográfica de referencia con elementos de corte físico	Costa_areal	Area	Límites de costa de la región de estudio
		Plataforma	Area	Límites de la plataforma insular
		Ríos_per	Lineal	Ríos permanentes
		Ríos_int	Lineal	Ríos intermitentes
		Pantanos	Area	Pantanos
		Lagunas	Area	Cuerpos de agua areales
DPA	División Político-Administrativa			
		Límites_ConsPop	Lineal	Límites lineales de los Consejos Populares
Relieve	Hipsometría	Rangos_relieve	Area	Alturas por rangos

		Curvas_nivel	Lineal	Curvas de nivel
Mareas	Amplitud y carácter de la marea	Mareógrafos	Puntual	Ubicación puntual de los mareógrafos
Suelos	Agrupaciones de suelos	Suelos	Area	Agrupaciones de suelos
Agrop_suelos	Agroproductividad de los suelos	Agrop	Area	Agroproductividad de los suelos
Vegetación	Vegetación actual	Vegetación	Area	Vegetación actual
Veget_potencia I	Vegetación potencial	Veget_pot	Area	Vegetación potencial
Contaminación	Contaminación	Puntos de contaminación	Puntual	Puntos de contaminación
Población	Distribución de la población	Pueblos Urbanos	Puntual	Pueblos Urbanos
		Pueblos Rurales	Puntual	Pueblos Rurales
Uso_tierra	Uso de la tierra	Uso	Area	Uso de la tierra
Puertos		Puertos1	Puntual	Puertos de embarque
Medio ambiente	Medio Ambiente	Áreas protegidas	Area	Áreas Protegidas
Precipitaciones	Precipitaciones	Localización de Pluviómetros	Puntual	Pluviómetros
Transporte	Sistema de transporte de uso general	Autopista	Lineal	Autopista
		Carretera_principal	Lineal	Carreteras principales
		Otras_carreteras	Lineal	Otras carreteras secundarias
		Terraplén	Lineal	Terraplenes
		Puertos	Puntual	Puertos
Geología	Geología del suelo	Formaciones y depósitos	Area	Tipos de formaciones y depósitos



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

3.2.8 Bases de datos de atributos

La relación de los campos de atributos para cada una de las bases aparece en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Campos de atributos de las bases digitales.

Nombre (Nemotécnico) de la Capa	Campos	Tipo	Descripción
Costa_areal	ID	Integer	Identificador espacial
Ríos_per	ID	Integer	Identificador espacial
Ríos_int	ID	Integer	Identificador espacial
Pantanos	ID	Integer	Identificador espacial
Lagunas	ID	Integer	Identificador espacial
Carre_p	ID	Integer	Identificador espacial
Carre_s	ID	Integer	Identificador espacial
DPA_Muni	ID	Integer	Identificador espacial
	Nombre_Con. Popu	Caracter	Nombre del Consejo Popular
Límites_Mun	ID	Integer	Identificador espacial
Rangos_relieve	ID	Integer	Identificador espacial
	Altura_m	Integer	Altura en metros
Curvas_nivel	ID	Integer	Identificador espacial
Mareógrafos	ID	Integer	Identificador espacial
	Estación	Carácter	Nombre de la estación
Suelos	ID	Integer	Identificador espacial
	Agrupamiento	Carácter	Nombre del Agrupamiento de suelos
Agrop	ID	Integer	Identificador espacial
	Agroproductivida d	Carácter	Agroproductividad de los suelos. Índice cualitativo
Áreas Protegidas	ID	Integer	Identificador espacial

Protegidas	Nombre_área_prottegida	Carácter	Nombre del área
Pueblos	ID	Integer	Identificador espacial
	Asentamiento	Carácter	Nombre del asentamiento
	Codasent	Integer	Código del asentamiento
	Categoría	Carácter	Categoría poblacional
Uso de la tierra	ID	Integer	Identificador espacial
	Uso	Carácter	Tipo de uso que se le da a la tierra
Carretera_principal	ID	Integer	Identificador espacial
Otras_carreteras	ID	Integer	Identificador espacial
Terraplén	ID	Integer	Identificador espacial
Puertos	ID	Integer	Identificador espacial

3.3 Otras definiciones técnicas del desarrollo e implementación del SIGMAC

El Sistema de Información Geográfico Medioambiental costero (SIGMAC) se diseña para que sea utilizado posteriormente en trabajos de interés en la zona o para que su metodología pueda ser utilizada en estudios afines.

3.3.1 Explotación del SIGMAC

- El **SIGMAC** es diseñado para su uso en la presente tesis y podrá ser explotado por otras instituciones territoriales, incluyendo la Delegación Territorial CITMA – PR.
- Por lo tanto, en el futuro, los portadores de la información serán las diferentes áreas de trabajo científico de la Delegación, así como otros centros científicos, docentes superiores y empresas del territorio, que aportarán muchos más datos temáticos, según la aplicación.
- El futuro funcionamiento general del **SIGMAC** y sus nuevas aplicaciones podrían enmarcarse dentro de futuros proyectos contratando al personal necesario para su actualización y aplicación, de cualquier centro, adiestrado en las técnicas SIG, de GPS y PR o impartir cursos de formación.

Con estas premisas se plantea un diseño para el **SIGMAC** cuya esencia está en conformar, con una definición abierta para los programas empleados, una estructura y composición del personal que realice las aplicaciones, así como los esquemas funcionales para el trabajo, con un hardware básico y flexible, de forma tal que permita llevar a cabo aplicaciones de diverso tipo como lo requiere el tema del medio ambiente donde los datos a analizar, las escalas, las regiones geográficas a tener en cuenta, los temas tratados y la manera de abordarlos van a ser tan disímiles.

En este diseño se propuso utilizar el SIG comercial MAPINFO 6.5 como software básico para la ejecución de la aplicación concebida, cuyas funciones se insertan totalmente en los esquemas funcionales generales señalados.

No obstante, como ya se señaló, el concepto de Geoproceso está implícito en cada uno de los pasos descritos a continuación. El esquema funcional que se propone permite el uso flexible de distintos programas para la solución de las tareas de entrada, análisis o salida de los datos, siendo esencial el intercambio de formatos de almacenamiento de los mismos.

3.3.2 Características generales que debe poseer la aplicación SIGMAC

Debe constar de:

- Capacidad para manejar bases de datos espaciales y de atributos heterogéneos.
- Capacidad para hacer preguntas a la base de datos sobre la existencia, localización y propiedades de los datos espaciales.
 - Eficiencia en el manejo de las preguntas (debe ser interactivo).
 - Flexibilidad y adaptabilidad. Poder ser usado por varios usuarios que tengan diferentes necesidades y en una gama amplia de aplicaciones.
- Análisis de redes
- Análisis en formato raster
- Empleo de imágenes de percepción remota en los análisis.

- Creación de modelos digitales del terreno

Debe ser un sistema de tipo modular, definidos los módulos como subsistemas con interconexiones normalizadas y compatibles que funcionan armónicamente como un todo. Los módulos encargados de resolver distintas tareas dentro del sistema están integrados y son abiertos.

El SIG maneja información integrada muy heterogénea (datos de la naturaleza, socioeconómicos, de población y otros). Como ya se indicó, los datos se hallarán en el SIGMAC como informaciones espaciales y de atributos, agrupados por capas temáticas para un espacio geográfico determinado a distintas escalas.

El SIGMAC está diseñado para realizar análisis complejos, que incluyen la superposición de capas, así como modelos demostrativos, de factibilidad, predictivos, de simulación, de optimización y de influencia.

La geocodificación (identificador espacial a los fenómenos espaciales) queda establecida, ahora por la autora, en lo sucesivo por el grupo del SIGMAC que deba encargarse de esta tarea, una vez definidos y adquiridos los datos específicos de las aplicaciones por parte del grupo temático.

Las entidades espaciales de los mapas y las imágenes de estos últimos, así como las de percepción remota, estarán georreferenciadas según el sistema de coordenadas, el datum geodésico y el elipsoide de referencia planteados anteriormente.

Las informaciones serán utilizadas en las investigaciones de medio ambiente, en inventarios y en otras tareas de interés para la Delegación Territorial CITMA – PR, el Gobierno y otros organismos, instituciones y empresas que lo soliciten.

Como ya se indicó, debe contarse con la información necesaria actualizada en formato digital, haciendo uso de las opciones de importación y exportación de datos en diferentes formatos.

3.3.3 *MapInfo*: Definición y características

En la tesis, el programa que se utiliza para el trabajo de georreferenciación, digitalización de los elementos topográficos y las salidas cartográficas será el *MapInfo* 5.5, en el próximo epígrafe se expondrán las características fundamentales del mismo que lo hacen un herramienta importante como Sistema de Información Geográfica.

3.3.3.1 Definición

Considerando que *MapInfo* ha sido el programa empleado con mayor profusión en nuestras entidades para trabajos de este tipo, por las facilidades que nos ofrece, se describen aquí sus características principales:

Este programa es un gestor de bases de datos geográficas que permite el ingreso, almacenamiento, recuperación, manipulación, análisis, despliegue y salida de la información de la ubicación y los atributos para las entidades de un mapa.

3.3.3.2 Características

En *MapInfo* se considera al mapa como una representación gráfica de entidades existentes sobre la superficie de la Tierra y por lo tanto, puede representar cualquier conjunto de objetos en el espacio. Un mapa contiene información de la forma de las entidades, de dónde están ubicadas en la Tierra y de cómo están espacialmente relacionadas. Un mapa contiene también información acerca de las características o atributos de cada entidad.

Las **entidades** del mapa son definidas como una serie de coordenadas latitud - longitud o X – Y, conectadas unas a otras. Estas coordenadas, también llamadas vértices, indican la forma de la entidad y su posición sobre la tierra. Existen tres tipos fundamentales de entidades del mapa:

- **Regiones** (también conocidas como *áreas* o *polígonos*): Son definidas por una serie ordenadas de vértices. Cada vértice es conectado al siguiente por un segmento de línea. El último vértice de la región, se conecta automáticamente con el primero, cerrando la región.

- **Líneas:** Son, también, definidas por una serie ordenada de vértices conectados por segmentos de líneas. A diferencia de las regiones, el último vértice no es conectado automáticamente con el primero.

- **Puntos:** Son definidas por un único vértice, representando una localización o posición sobre el mapa.

Las entidades en *MapInfo* son organizadas en **capas**. Un mapa se compone de varios tipos de entidades representadas en diferentes capas. Las capas pueden ser encendidas o apagadas o establecer que sean visibles solamente a ciertas escalas. Se pueden establecer características gráficas para cada capa. Además, se pueden realizar búsquedas espaciales, análisis de superposiciones y otras operaciones con ellas.

Su base de datos es relacional, el modelo más popular para SIG, que conecta las complejas relaciones espaciales entre objetos. Los objetos espaciales están tabulados en tablas consistentes en registros con un conjunto de atributos.

Una región, en un fichero geográfico, puede formar un **borde común** con cada región adyacente. Debido a que cada región es almacenada como una entidad separada en el fichero geográfico es importante asegurar que los vértices de sus bordes comunes estén posicionados de forma precisa en la misma localización, para que:

- El mapa no contenga “huecos” o solapamientos de áreas.
- *MapInfo* puede mantener, de forma automática, los bordes comunes entre 2 regiones, cuando alguna es editada o modificada.
- *MapInfo* puede detectar bordes comunes cuando realiza búsquedas y análisis espaciales.

Este software corre en un **medio gráfico de trabajo** “amigable” que incluye un sistema de **menús** y **herramientas** interactivas lógicas y una disposición cómoda para el trabajo cartográfico.

3.3.3.3 Entrada de datos en *Mapinfo*

En este software es posible digitalizar los datos espaciales mediante una tableta digitalizadora en formato vectorial. También se pueden digitalizar entidades espaciales

con el *mouse*, directamente en la pantalla de la computadora, contando con una imagen georreferenciada de fondo. El proceso es relativamente cómodo.

La estructura de almacenamiento topológico proporciona los bordes comunes como repetidos para cada área, lo cual, a pesar de tener el inconveniente de la redundancia, es ventajoso para el tratamiento de estos datos espaciales en otros sistemas con fines cartográficos.

Otra forma de entrada posible de los datos espaciales es mediante la conversión de otros formatos de archivos usados por otros sistemas al formato de *MapInfo*, mediante procesos de importación

Los datos de atributos pueden introducirse al sistema mediante el teclado o importándolos desde otros sistemas en otros formatos como se puede apreciar en la figura 3.11.

3.3.3.4 Funciones de manejo y análisis de datos en *Mapinfo*

Las funciones de manejo y de análisis de datos se señalan en las tablas 3.6 y 3.7 que se plantearon en los epígrafes 3.2.7 y 3.2.8.

3.3.3.5 Salida de datos en *Mapinfo*

Las salidas que brinda el sistema son en forma gráfica y alfanumérica (mapas, tablas, textos y gráficos), que pueden imprimirse como copias duras mediante impresoras y trazadores gráficos, desplegarse en la pantalla de rayos catódicos o copiarse en formatos digitales con la posibilidad de la conversión a diferentes formatos de entrada a otros sistemas.

Con *Mapinfo* se pueden generar distintos tipos de mapas temáticos. Se pueden emplear los símbolos por intervalo, los símbolos proporcionales, los rellenos por intervalo, los rellenos proporcionales y los puntos (nubes de puntos para datos numéricos) como métodos de representación cartográfica de las variables. El esquema donde gráficamente se muestra la salida de datos se dio anteriormente en el gráfico 3.12.

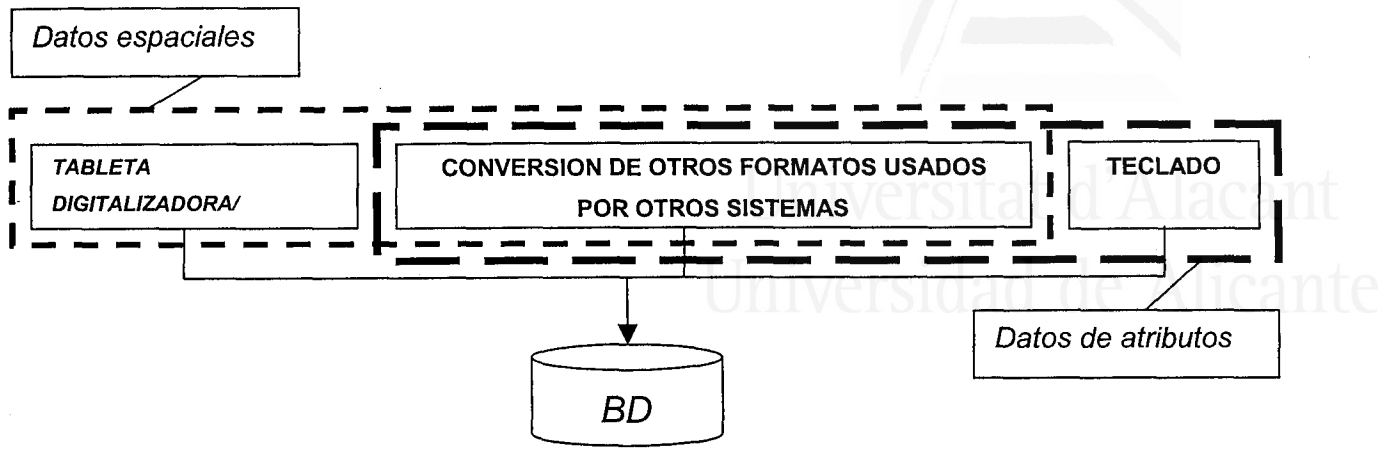


Figura 3.11: El teclado como medio de introducción de los datos de atributos

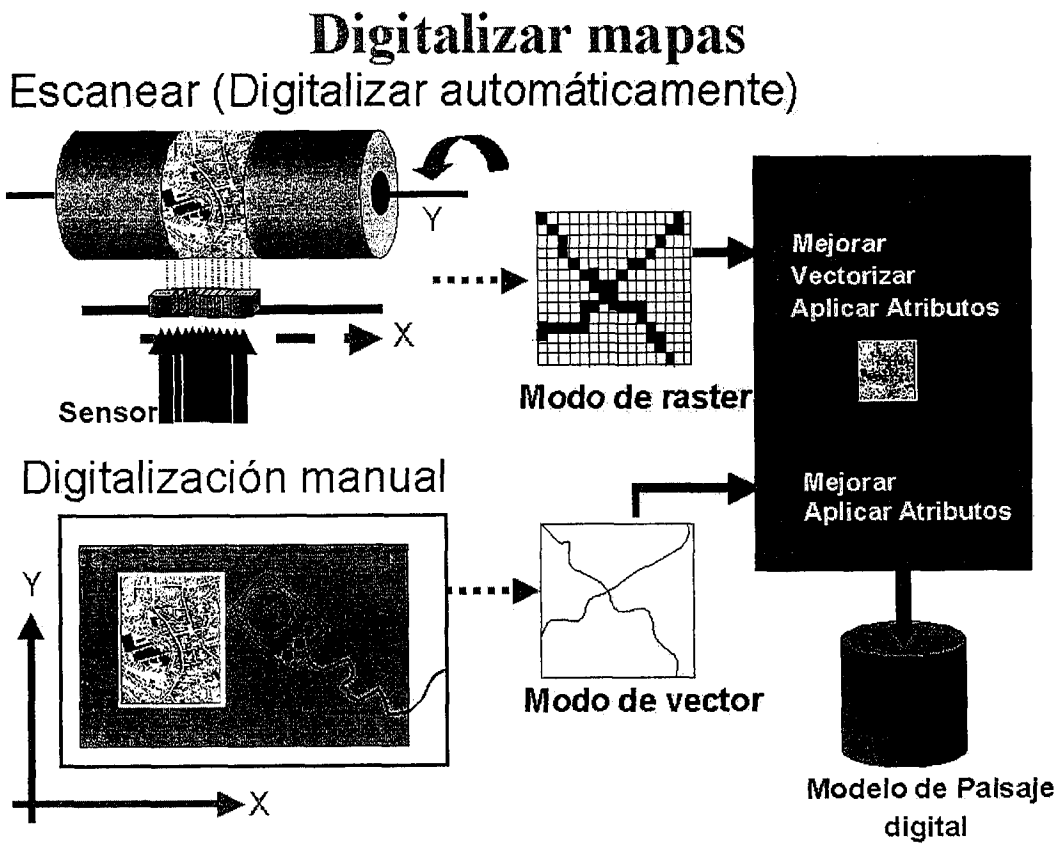


Figura 3.12: Modos de digitalización de mapas

3.3.3.6 Tareas específicas que pueden realizarse *Mapinfo*

MapInfo resuelve toda una serie de tareas importantes como:

- Crear subconjuntos de un fichero.
- Agregar o unir ficheros a un fichero existente.
- Agregar múltiples ficheros dentro de un nuevo fichero.
- Copiar atributos a un fichero de atributos.
- Ordenar una tabla de atributos.
- Calcular y asignar valores a un campo en una base de datos de atributos.
- Calcular y desplegar totales.
- Buscar y seleccionar entidades por su nombre.
- Editar las capas.
- Combinar regiones.
- Agregar datos y límites.
- Asignar localizaciones por enlace de direcciones.
- Buscar direcciones en el mapa.
- Establecer la red de dibujo libre (freehand).
- Realizar anotaciones libres (freehand).
- Adaptar colores.
- Formatear la página.
- Trabajar con etiquetas.
- Cargar una parte de un fichero mapa.
- Copiar ficheros mapas a otra PC.
- Imprimir reportes.
- Determinar los parámetros de impresión.

3.3.3.7 Instalación de *MapInfo*

MapInfo se instala en el disco duro de la microcomputadora mediante un programa instalador. Los nombres de los subdirectorios para la instalación son elegidos por los usuarios del sistema en el momento de la instalación.

Es recomendable establecer las bases de datos, tanto alfanuméricas como espaciales, en directorios de trabajo aparte de los empleados para el sistema, para una mejor organización.

El espacio necesario en el disco duro para el trabajo con *MapInfo* es el siguiente:
Directorios del sistema: Aproximadamente 9 MB.

3.3.4 Arquitectura tecnológica del SIGMAC. Esquema funcional

Después de hacer un análisis de todo lo planteado hasta el momento, se está en condiciones de hacer la proposición del esquema tecnológico que rige todo el estudio medioambiental que se propone.

A partir del Esquema Tecnológico general propuesto en la figura 3.3, el cual es aplicable a cualquier Sistema de Información Geográfico que se quiera confeccionar, el Diagrama del flujo metodológico a emplear, figura 3.6, el Flujo esquemático de producción de mapas temáticos, figura 3.7, las Capas Temáticas que se proponen obtener para la composición del SIGMAC, figura 3.8 y con las Fuentes de datos del SIGMAC se propone el esquema tecnológico que va a regir a partir de este momento la presente investigación.

3.3.4.1 Arquitectura tecnológica mínima

Anteriormente se describió la arquitectura tecnológica óptima que debería tener el **SIGMAC**. El puesto de trabajo óptimo para el funcionamiento del **SIGMAC** requiere de los componentes que se señalaron. Un componente tecnológico mínimo sería el siguiente:

- Opciones de PC básico:
Microcomputadora Pentium, 700 Mhz, 256 MB RAM
Disco duro 30 GB
Torre de floppy 1.44 MB
Tarjeta gráfica SVGA 2 MB

Display color 19"

CD ROM 54X

UPS con estabilizador 420 VA

Mouse con pad

- Opciones de resguardo electrónico en:

Tape Backup HP DAT 6 GB (interno) SCSI-2

Casette Backup 1 GB

Disquettes de 1.44 MB

CD-R

- Opciones de Digitalizador / Barredor:

Digitalizador 24" x 36" Summagraphics Summagrid IV 16 Buttons

Scanner Color, 1200 DPI, formato A2

- Opciones de Impresor / Ploteador

Impresora láser en color

Ploteador en colores, 1200 DPI, formato A1

- Insumos para los equipos

La cantidad y requerimientos de los equipos está proporcionada a las aplicaciones que se van a ejecutar.

3.3.4.2 Esquema Tecnológico del SIGMAC

La confección de esquemas tecnológicos para el desarrollo de cualquier actividad permite darle el seguimiento adecuado y lógico a la misma y en usos posteriores, puede utilizarse como guía para trabajos que se desarrollen en el campo del mismo.

Para la confección de mapas temáticos mediante imágenes de Percepción Remota, se ha confeccionado el esquema tecnológico que se presenta en la figura 3.13, el cual puede ser utilizado en cualquier aplicación temática que se desarrolle, pudiéndose seguir los pasos o etapas que se muestran en el esquema para llevar a cabo las aplicaciones SIG y todos los trabajos a tener en cuenta para lograr el objetivo propuesto.

**ESQUEMA TECNOLÓGICO GENERAL DE CONFECCIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS
MEDIANTE IMÁGENES DE PERCEPCIÓN REMOTA**

**PLANTEAMIENTO DE LOS OBJETIVOS CIENTÍFICO-TECNICOS E
INVESTIGATIVOS FUNDAMENTALES**

**DEFINICION DE LAS TAREAS CIENTÍFICO-TECNICAS
ESPECIFICAS Y RESULTADOS PLANTEADOS**

**SELECCIÓN DE ZONAS DE ESTUDIO. DEFINICION DE
PRIORIDADES DE EJECUCION Y PLAZOS ESTABLECIDOS Y DE
ESCALAS DE SALIDA, TIPO DE PROYECCION CARTOGRAFICA,
FORMATO DE LOS MAPAS Y OTRAS CUESTIONES
RELACIONADAS CON ASPECTOS CARTOGRAFICOS
GENERALES PARA TENERLOS EN CUENTA DURANTE EL
DISEÑO Y LA IMPLEMENTACION DEL
SIG**

**ESTUDIO PRELIMINAR DE LA REGION PARA OBTENCION DE
DATOS INICIALES Y ESCLARECER LAS CARACTERÍSTICAS DE
LAS INVESTIGACIONES QUE SE REALIZAN. CONSULTAS CON
ESPECIALISTAS**

SELECCIÓN Y RECOPIACION DE DATOS

Búsqueda, selección, análisis y valoración de datos e información existentes sobre la región dada y sistematización de los mismos.

Confección de esquemas de existencia y cubrimiento de aquellos documentos valorados como útiles para el trabajo: cartográficos, fotografías aéreas, imágenes satelitales.

Descripción de las características técnicas generales de la red geodésica existente y mareográfica

ESTUDIO PRELIMINAR

Estudio de las características físico-geográficas generales de la región (tanto las naturales como las socioeconómicas) mediante trabajo en gabinete.

Solicitud de datos y materiales que sean necesarios para la ejecución de los trabajos y que no se hallan localizado entre los materiales y datos que se poseen

CONFECCION DEL PROGRAMA PRELIMINAR DE LOS TRABAJOS RELACIONADOS CON LA CAPTURA DE INFORMACIÓN MEDIANTE IMÁGENES. CONFECCION DE FOTOMAPAS DIGITALES

RECONOCIMIENTO DE LA REGION DE ESTUDIO

Confección de indicaciones técnicas para la preparación de los datos y materiales iniciales.

Confección del Plan de marcharrutas para el reconocimiento

Elaboración del plan de reconocimiento de la región para el esclarecimiento de las características y estado de la red geodésica, estudio del comportamiento general de los paisajes, niveles de acceso a las zonas por las vías existentes. etc

Observaciones
aerovisuales
(Si es posible)

Observaciones terrestres por marcharrutas. Chequeo de puntos geodésicos escogidos. Toma fotográfica de elementos del paisaje que sean de interés para el trabajo. Mediciones con GPS

Reconocimiento marítimo y observaciones de las zonas litorales y de las cayerías (Si es posible)

Elaboración de la metodología general para indicar:
- Métodos y medios técnicos, así como materiales para la ejecución de los levantamientos aéreos y procesamiento fotográfico de negativos e impresiones

Elaboración de las Tareas Técnicas de los trabajos de apoyo con los GPS, así como hidrográficos

**Selección de polígonos test
(de entrenamiento)**

Análisis de los estudios temáticos realizados en las zonas escogidas como polígonos para determinar si su grado de estudio lo permite utilizar como tal. Completamiento de investigaciones temáticas detalladas de aquellas zonas test que lo requieran

Selección de las fotografías e imágenes de satélites

Ejecución de trabajos preliminares de redacción cartográfica para la confección de los mapas temáticos digitales. Indicaciones técnicas

TRABAJOS DE CAMPO PRELIMINARES PARA EL ASEGURAMIENTO DE LOS DATOS EMPLEADOS EN LA CONFECCION DE LOS MAPAS DIGITALES MEDIANTE IMÁGENES DE PERCEPCIÓN REMOTA

Determinación de las coordenadas (X,Y,Z) de los puntos de control fotográfico mediante GPS

Trabajos temáticos de apoyo. Muestras mediante GPS y tomas fotográficas de los elementos escogidos

Trabajos temáticos de apoyo

DEFINICIÓN DE LA SERIE DE MAPAS TEMÁTICOS. CONFECCIÓN DEL PLAN DE MAPAS TEMATICOS DIGITALES POR CADA GRUPO DE ESTUDIO

Definición de posibles clasificadores de rasgos descenmascarantes en las imágenes de percepción remota de cada tipo

Definición y confección preliminar de patrones de fotointerpretación para cada tipo de imagen de percepción remota

Confección de símbolos y nomenclaturas convencionales para el proceso de fotointerpretación, de acuerdo a cada temática de estudio

CONFECCION DEL PROYECTO TECNICO GENERAL Y DE LAS TAREAS TECNICAS PARA LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS DE GEOMATICA, INCLUYENDO LA CARTOGRAFIA TEMATICA DIGITAL MEDIANTE IMÁGENES, PARA SU UTILIZACION EN EL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA DE LA TESIS

**ANALISIS Y VALORACION DE LOS MEDIOS TECNICOS Y MATERIALES
PARA LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS RELACIONADOS CON LA
GEOMATICA**

Obtención de los
materiales
aerofotográficos
iniciales

Uso de los Sistemas de
Posicionamiento Global
en la obtención de las
coordenadas de puntos de
control fotográfico y en
otras tareas

Procesamiento Digital de
Imágenes, que incluyen:
- Mejoramiento y realce
- Correcciones
geométricas
- Empalme de imágenes
- Creación de fotomapas

Trabajos in situ de
obtención de datos
complementarios

Escaneo de las fotografías
aéreas

Entrada de
imágenes para el
procesamiento
digital.

Procesamiento digital preliminar
Selección de cuadros
Creación de iconoteca

Confección de fotomontajes y
fotoesquemas

Selección de imágenes

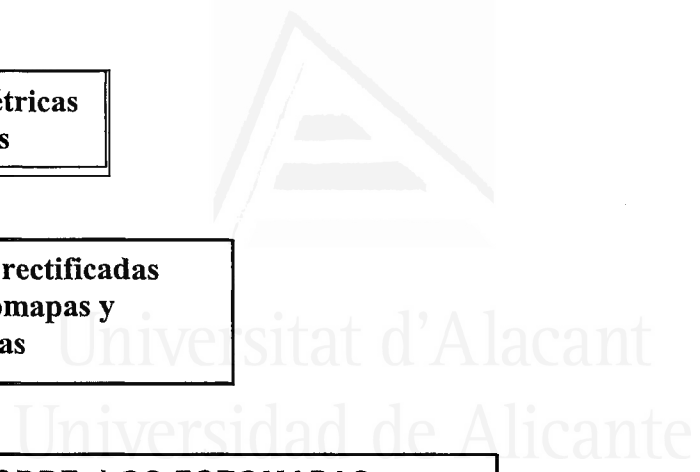
**PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES PARA CADA HOJA DE CADA MAPA
Y POR TEMATICA DE ESTUDIO**

Mejoramiento y realce digital
de imágenes

Fotointerpretación y clasificación (preliminar)
digital temática de imágenes en gabinete con ayuda
de patrones

CREACION DE MDT

Clasificación de imágenes



**Correcciones geométricas
de las imágenes**

**Montaje de imágenes rectificadas
Confección de fotomapas y
espaciomapas**

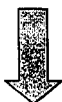
**CLASIFICACION TEMATICA SOBRE LOS FOTOMAPAS
IMPRESION ANALOGICA O REGISTRO EN SOPORTE MAGNETICO**

**COMPROBACIÓN Y COMPLETAMIENTO DE LA CLASIFICACIÓN EN CAMPO
CON IMAGEN EN SOPORTE ANALÓGICO**

**TRABAJOS FINALES EN GABINETE : CLASIFICACIÓN FINAL, DISEÑO FINAL DEL
FOTOMAPA CLASIFICADO; AGREGADOS DEL FOTOMAPA (CURVAS DE NIVEL,
ISOBATAS, TEXTOS, LEYENDA, OTRA INFORMACIÓN MARGINAL)**

**VECTORIZACION DE LOS ELEMENTOS FOTOINTERPRETADOS DEL FOTOMAPA O
MANEJO DE LA IMAGEN EN FORMATO RASTER**

USO DEL MAPA DIGITAL CLASIFICADO EN EL SIG



**ANALISIS DE LA INFORMACIÓN EN EL SIG
CONSULTAS, MODELACIONES, CREACION DE NUEVOS MAPAS TEMATICOS**

MDT – Modelo Digital del Terreno

Figura 3.13: Esquema Tecnológico General de confección de mapas temáticos mediante imágenes de Sensores Remotos.

A partir del esquema tecnológico antes planteado se confeccionó el esquema funcional que rige el trabajo a realizar, figura 3.14, para la obtención del Sistema de Información Geográfico Medioambiental Costero (SIGMAC), que constituiría unos de los resultados de la presente tesis,

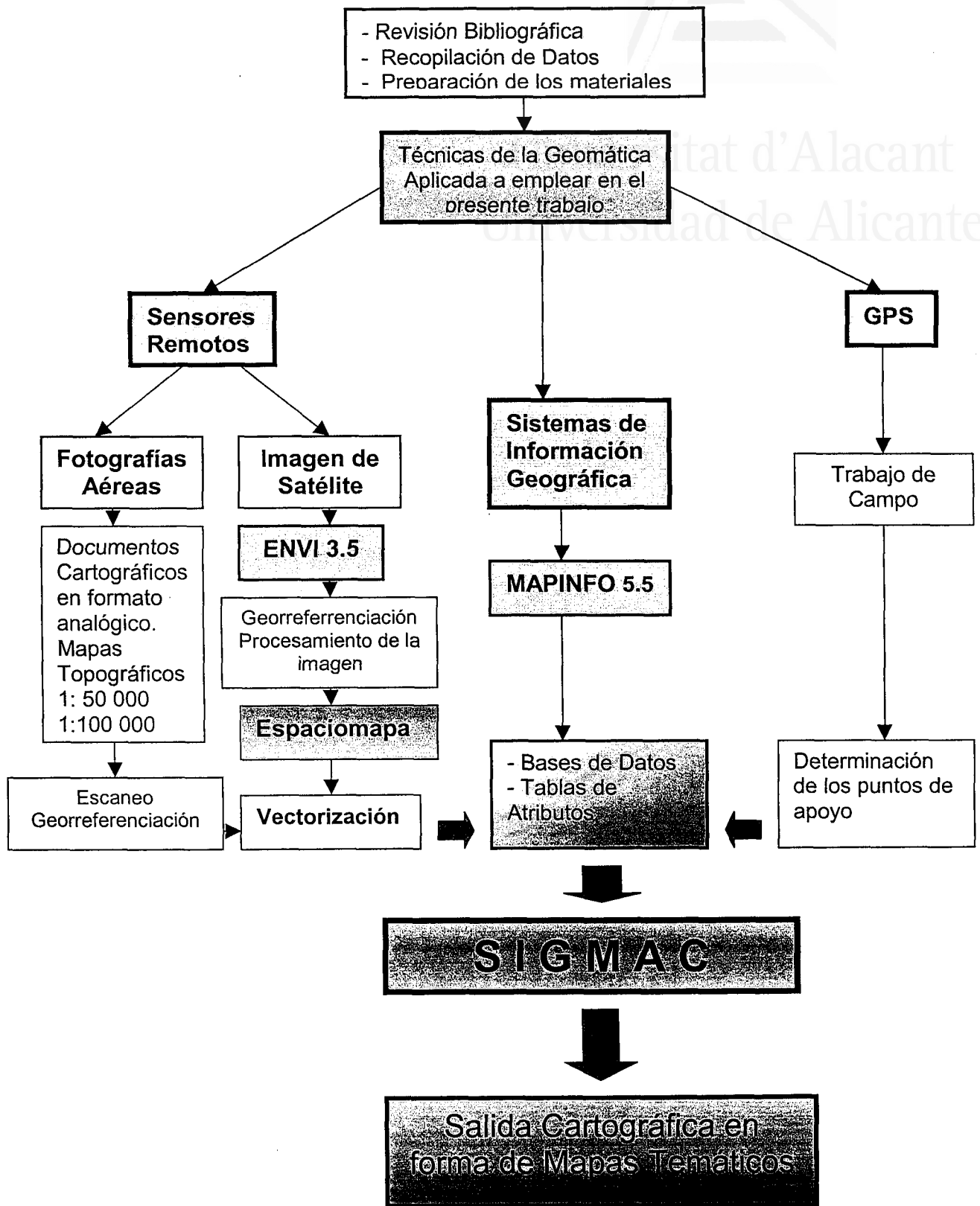


Figura 3.14: ESQUEMA TECNOLÓGICO DEL SIGMAC

Más arriba también se habían señalado los **Grupos de Trabajo** que conformarían el colectivo de especialistas del **SIGMAC**. Como se ha dicho, existen diversas variantes de Grupos de Trabajo para la implementación y ejecución de las actividades de un SIG, que se interrelacionan.

Estos grupos o subsistemas trabajan en base a las indicaciones del **Grupo de Manejo y Administración** del Sistema, que está compuesto por las personas que tengan a su cargo las direcciones de las aplicaciones que se hagan y de la explotación del **SIGMAC** en general.

La aplicación SIG que se ha diseñado y desarrollado se caracteriza por las siguientes posibilidades técnicas:

- ❖ Por su capacidad para manejar bases de datos espaciales y de atributos heterogéneos.
- ❖ Da la posibilidad de interrogar a la base de datos sobre la existencia, localización y propiedades de los datos espaciales.
- ❖ Elevada eficiencia en el manejo de las preguntas o consultas (es sumamente interactivo).
- ❖ Flexibilidad y adaptabilidad. Puede ser explotado por varios usuarios que tengan diferentes necesidades y en un amplio diapasón de aplicaciones.

Conclusiones del capítulo

En este capítulo se propone una metodología para el desarrollo del trabajo impuesto y se considera que, en sentido general, reúne las condiciones óptimas y características adecuadas para darle solución a la tarea de investigación, así como el rigor científico necesario para llevar a la práctica y darle cumplimiento en la presente tesis.

- El diseño del Sistema de Información Geográfica Medioambiental Costero (SIGMAC) que se ha realizado y es posible implementarlo en la práctica, de forma experimental, como se expone en el Capítulo IV, demostrándose que los SIG representan una poderosa herramienta aplicable al manejo de información georreferenciada de los ecosistemas estudiados.
- Los resultados arrojados por este sistema, obtenidos a través de tecnologías avanzadas de la geomática propuestas en los capítulos anteriores, así como la utilización de los programas requeridos, aportan una información de alta confiabilidad y de una gran actualidad para el manejo de los recursos costeros.

Capítulo IV: Resultados experimentales

4.1 Aspectos introductorios

Con el fin de corroborar científicamente los aspectos tratados, se llevó a cabo una etapa experimental en el contexto del desarrollo de la presente tesis.

La zona escogida para los trabajos experimentales coincide con el área de estudio tratada.

Con el objetivo de ejecutar de forma sistémica el trabajo experimental se adoptó un esquema tecnológico general que se muestra en la figura 4.1

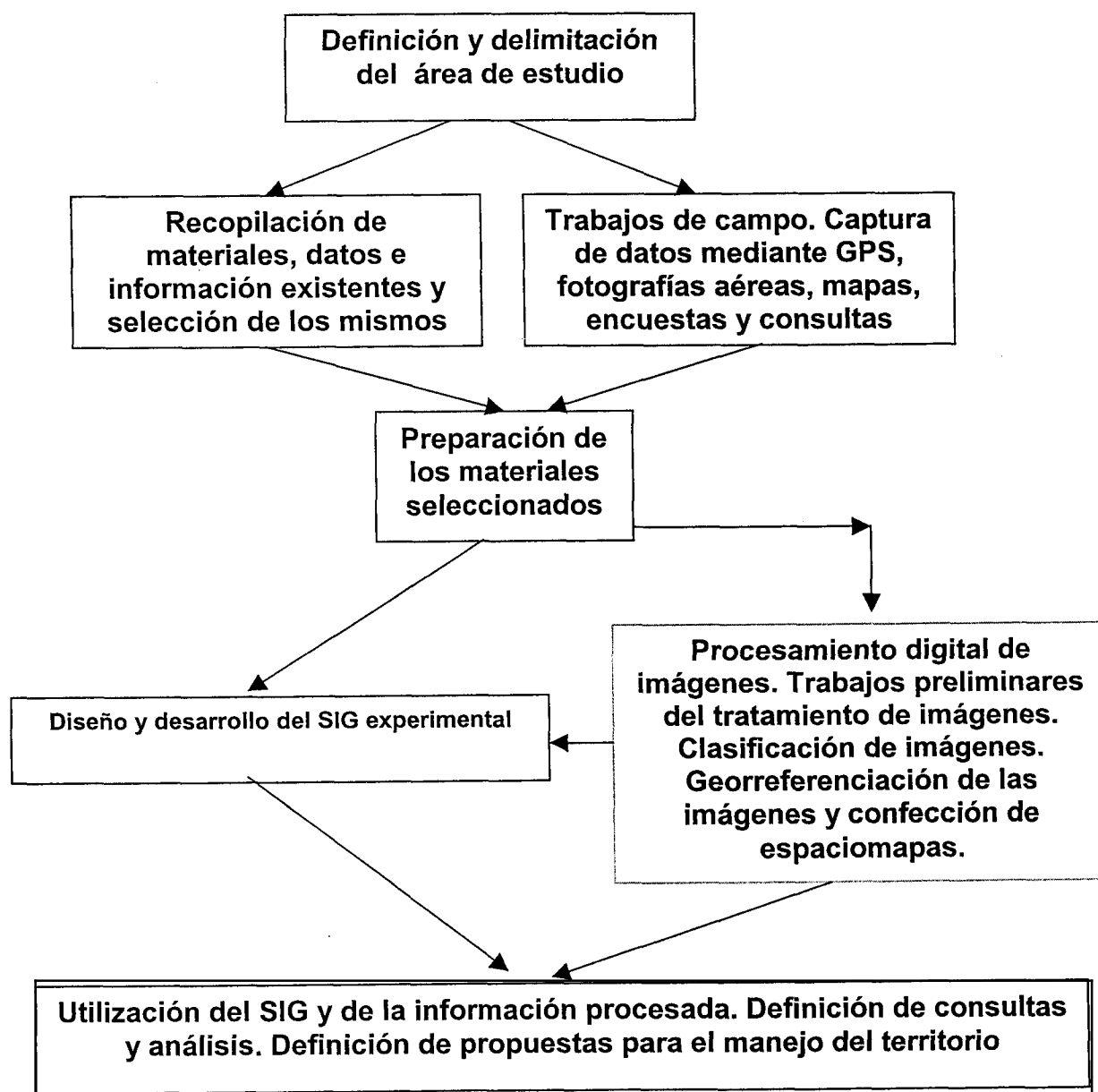


Figura 4.1: Esquema tecnológico general para la ejecución del trabajo.

A continuación se realizará a grandes rasgos un bosquejo de las diferentes etapas a cubrir en el esquema metodológico para la obtención de los resultados finales.

1 – Definición y delimitación del área del experimento: el área se definió teniendo en cuenta la importancia que reviste el estudio de los recursos costeros en la actualidad, además de que Cuba es un país ideal para este tipo de estudio, ya que se encuentra rodeado por costas completamente. Se escoge esta área por la erosión que hace tiempo se viene generando en el litoral de la llanura costera sur – occidental de la provincia de Pinar del Río.

El área del experimento se delimitó en base a los estudios a realizar, como era, entre otros, el estudio del ecosistema manglar y su importancia y papel en la erosión costera.

2 – Recopilación de materiales, datos e información existentes y selección de los mismos: se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva para la documentación adecuada sobre el tema. Se llevaron a cabo los trabajos preliminares de gabinete, mediante los cuales se logró la ubicación de materiales cartográficos existentes del área de estudio, así como de fotografías aéreas, imágenes espaciales y otros materiales necesarios. Se hizo el análisis del estado de la red geodésica y mareográfica, ya que se trataba de una zona costera. Se precisó el grado de estudio por las diferentes instituciones del territorio. Se hizo la definición, ordenación, selección y estandarización de la información y evaluación de su posible utilización en los trabajos posteriores. Ésta fue una etapa difícil, la recopilación de materiales, datos e información llevó más tiempo del deseado, dada las restricciones y poca disponibilidad de los mismos, así como la baja disposición de las empresas a prestar sus servicios en la obtención de los datos necesarios para el desarrollo del trabajo preliminar.

Estos materiales se describirán de forma más detallada en el epígrafe 4.2.1.

3 – Trabajo de campo. Captura de datos mediante GPS, fotografías aéreas, mapas encuestas, consultas: el trabajo de campo se realizó en dos etapas primera etapa, un reconocimiento *in situ* de toda la zona, aquí se hizo una familiarización con la zona de estudio y un acopio de información auxiliar, se evaluaron los rasgos

medioambientales, dentro de ellos el ecosistema manglar como recurso de mayor interés, además los aspectos socioeconómicos y humanos. En una segunda etapa se realizó la determinación de los puntos de apoyo para la rectificación de las imágenes con el GPS, auxiliándose de las fotografías aéreas y de los mapas topográficos.

4 – Preparación de los materiales seleccionados: una vez seleccionados los materiales definitivos se prepararon, se clasificaron y se valoraron para su futura utilización.

5 – Proceso digital de imágenes. Trabajos preliminares del tratamiento de imágenes. Georreferenciación de las imágenes y confección de los espaciomapas: en esta etapa se escaneron y georreferenciaron los mapas a utilizar 1:50.000 y 1:100.000, así como las fotografías aéreas de los vuelos de diferentes años, la imagen de satélite en soporte digital se georreferenció también. En los mapas georreferenciados se digitalizó manualmente con *Mapinfo 5.5* para la obtención de todas las capas que se querían para la implementación del SIGMAC, esto supone la digitalización de la cartografía final o, en el caso del tratamiento digital, las modificaciones precisas para que se ajuste perfectamente a la cartografía convencional disponible (cambios de proyección cartográficas, de resolución espacial, etc). A la imagen de satélite se le dio tratamiento con *ENVI 3.5* hasta obtener las combinaciones adecuadas para la información que se quiere disponer en los espaciomapas y que permita, de forma general, sino detallada, interpretar los elementos topográficos del terreno.

6 – Diseño, desarrollo e implementación del SIG experimental: aquí se confeccionaron las capas geográficas bases que se querían obtener con los formatos requeridos y que se ajusten a los objetivos propuestos. Esta etapa se explicará más detalladamente en el epígrafe 4.2.

7 – Utilización del SIG y de la información procesada. Definición de consultas y análisis. Definición de propuestas para el manejo del territorio: con los resultados del SIGMAC, esta etapa define las propuestas generales que se van a

hacer para realizar la ordenación y las recomendaciones de gestión, así como las políticas a seguir para el estricto cumplimiento de las mismas.

4.2 Diseño, desarrollo e implementación del SIG experimental

Los datos introducidos y manejados en calidad de información espacial y de atributos temáticos, están agrupados por capas temáticas para un espacio geográfico que abarca, en la primera etapa de su implementación, los aspectos temáticos que se señalan a continuación:

- ✓ **Áreas protegidas**
- ✓ **Zonas costeras y su límite de protección**
- ✓ **Vegetación**
- ✓ **Hidrografía**
- ✓ **Usos de suelo**
- ✓ **Relieve**
- ✓ **Geología**
- ✓ **Focos contaminantes**
- ✓ **Consejos Populares**
- ✓ **Viales**
- ✓ **Asentamientos urbanos**
- ✓ **Otros**

4.2.1 Materiales utilizados en la fase experimental

La introducción de las tecnologías y métodos avanzados, como la Percepción Remota (**PR**), los Sistemas de Posicionamiento Global (**SPGD**) y la Fotogrametría Digital (**FD**), para adquirir bases de datos digitales georreferenciadas, susceptibles de ser procesadas, analizadas y cartografiadas por medio de los Sistemas de Información Geográfica (**SIG**), ha significado una excelente alternativa en muchos países para lograr un mayor conocimiento de los territorios sujetos a estudio de forma sistemática, en especial de las zonas costeras y marinas, que en muchos casos resultan ser territorios de difícil acceso.

La selección de los materiales, su preparación y estandarización es vital en toda investigación, de ahí depende la rapidez con que se trabaje, la mayor disponibilidad y calidad de la información referente a la zona de estudio, la cual debe ser estudiada y analizada con sumo cuidado para obtener la mayor información posible de las mismas y que a su vez aporte los datos necesarios imprescindibles para el comienzo de la tarea propuesta.

4.2.2 Materiales empleados en la etapa experimental de la tesis

Las bases de datos cartográficas empleadas, así como las imágenes de percepción remota fueron:

- Mapas topográficos
- Mapas temáticos
- Cartas náuticas
- Fotografías aéreas
- Imagen de Satélite
- Otros materiales.

Como se ha planteado, la cartografía digital topográfica, náutica y temática de los geosistemas de las zonas costeras, es una tarea de indudable importancia para representar gráficamente el estado de sus recursos naturales, las potencialidades socioeconómicas de estos territorios y la caracterización de sus condiciones medioambientales existentes en una forma muy eficiente.

4.2.2.1 Mapas topográficos

Se utilizaron dos escalas de mapas diferentes **1 : 50.000** y **1 : 100.000**, confeccionados y editados por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (Año 1972-81). Las hojas topográficas utilizadas tienen intervalos entre curvas de nivel de 10 m y 20 m, respectivamente. La Proyección cartográfica es la Cónica Conforme de Lambert, Datum NAD – 27, Cuba Norte, Elipsoide de Clarke de 1866.

En las tablas 4.1 y 4.2 se pueden apreciar los mapas topográficos utilizados durante la investigación tanto 1:50 000 como 1:100 000.

Tabla 4.1 Hojas de Mapas Topográficos. 1 : 50 000

No de la hoja	Nombre	Año de Impresión
3482 – I	La Coloma	1994
3582 – IV	Alonso de Rojas	1979
3482 – II	Punta Santo Domingo	1995
3482 – IV	San Juan y Martínez	1985
3483 – III	Cortés	1987
3481 – IV	Punta La Yana	1994
3382 – ii	Sandino	1986
3381-I	Cayuco	1978
3481-IV	Punta de la Yana	1978

Tabla 4.2 Hojas de Mapas Topográficos. 1 : 100 000

No de la hoja	Nombre	Año de la impresión
3382	Guane	1982
3482	San Juan y Martínez	1987
3582	Alonso de Rojas	1983

Como se señaló, estos mapas fueron digitalizados en un *scanner* en colores, formato A3, con 3200 DPI de resolución. Las imágenes *raster* de los mapas fueron mejoradas mediante el *software ENVI 3.5* y georreferenciadas mediante puntos de los vértices de cuadrículas de los mismos.

Los elementos topográficos fundamentales de los mapas fueron vectorizados mediante *Mapinfo 5.5*, obteniéndose una cartografía digital de los elementos espaciales topográficos, que se señalan a continuación:



- ❖ **Viales**
- ❖ **Asentamientos**
- ❖ **Hidrología general**
- ❖ **Uso de suelo**
- ❖ **Tipo de suelo**
- ❖ **Línea costera y cayerías**
- ❖ **División Político Administrativa**
- ❖ **Relieve (curvas de nivel)**
- ❖ **Otros**

Las entidades espaciales, tomadas de los mapas topográficos, están georreferenciadas según el sistema de coordenadas planas rectangulares señalado.

Las hojas de los mapas a las escalas referidas no se encuentran actualizadas en un 75 – 80 %, lo cual exigió el correspondiente trabajo para completar su contenido mediante el uso de las imágenes de percepción remota.

A partir de la digitalización manual de los diferentes elementos de interés que conforman el presente sistema, se obtienen las diferentes capas temáticas que aparecen a continuación:

División Política Administrativa (DPA), figura 4.2, que se obtuvo teniendo como mapa base el mapa de DPA del Nuevo Atlas Digital de Cuba en soporte magnético y actualizado en el 2000 en el Instituto de Geografía Tropical de la Habana.

Elementos de Interés para el Sistema se digitalizó manualmente de los mapas base topográficos 1:50.000. (Figura 4.3)

Hidrografía en el área de estudio se digitalizó manualmente de los mapas base topográficos 1:50.000. (Figura 4.4)

Población se digitalizó manualmente de los mapas base topográficos 1:50.000 y los datos se obtuvieron del Departamento de Planificación Física de Pinar del Río. (Figura 4.5)

Infraestructura Vial se digitalizó manualmente de los mapas base topográficos 1:50.000. (Figura 4.6)

Relieve se digitalizó manualmente de los mapas base topográficos 1:50.000. (Figura 4.7)

Suelos en el Área de Estudio, figura 4.8, se obtuvo del mapa de clasificación de tipos de suelos del Departamento de suelos del MINAG en Pinar del Río.

Uso del Suelo, figura 4.9, se obtuvo del Nuevo Atlas Digital de Cuba en soporte magnético y actualizado en el 2000 en el Instituto de Geografía Tropical de la Habana.

Geología, figura 4.10, se obtuvo de los mapas resultado de la tesis doctoral del Ing. Julio Cabrera año 2002.

Modelo Tridimensional del Terreno, figura 4.11, se obtuvo por el Vertical Map, mediante las curvas de nivel obtenidas en la vectorización se creó el modelo digital del relieve de toda el área de estudio.



Figura 4.2: División Política Administrativa.

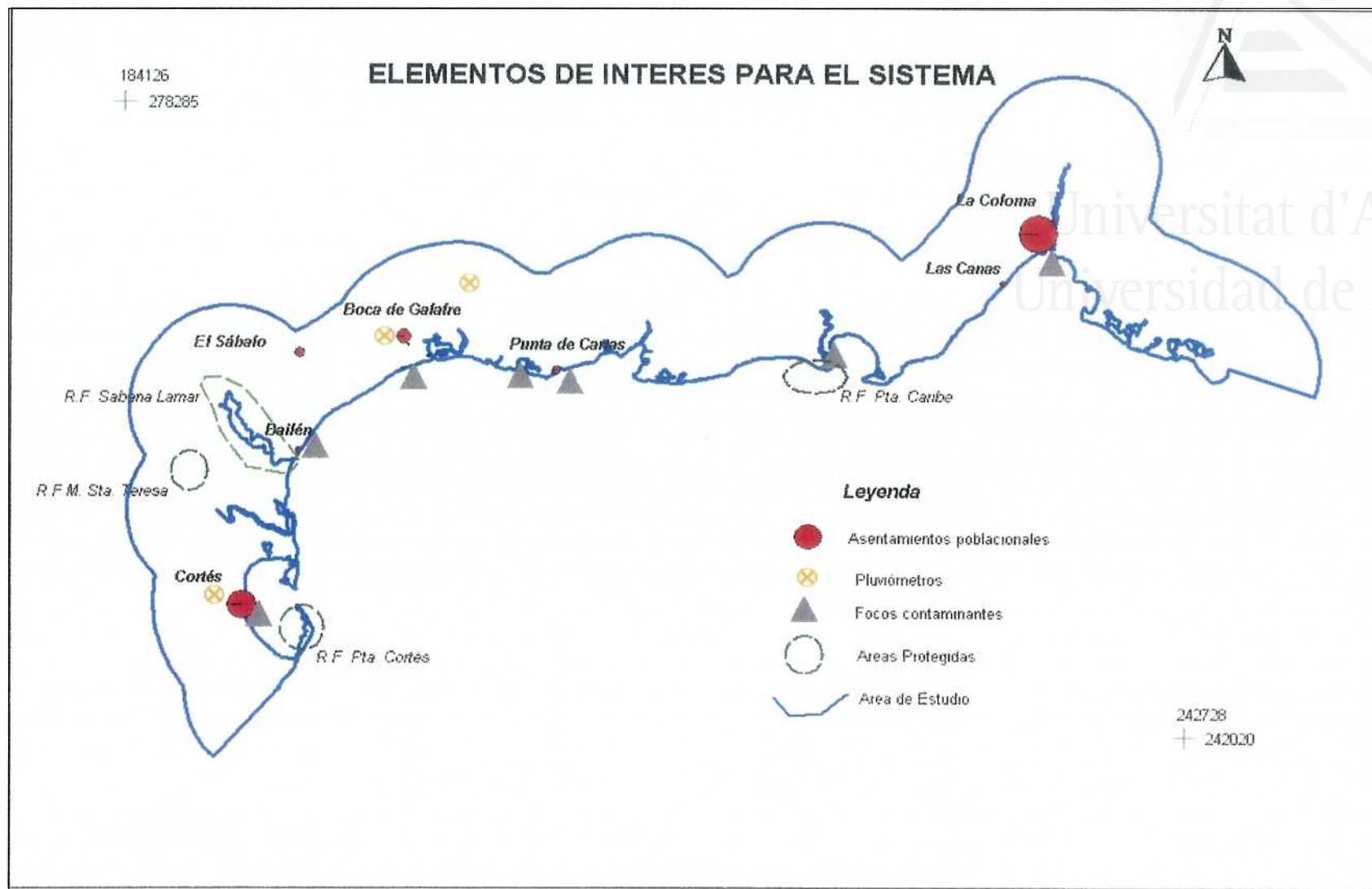


Figura 4.3: Elementos de interés del área de estudio

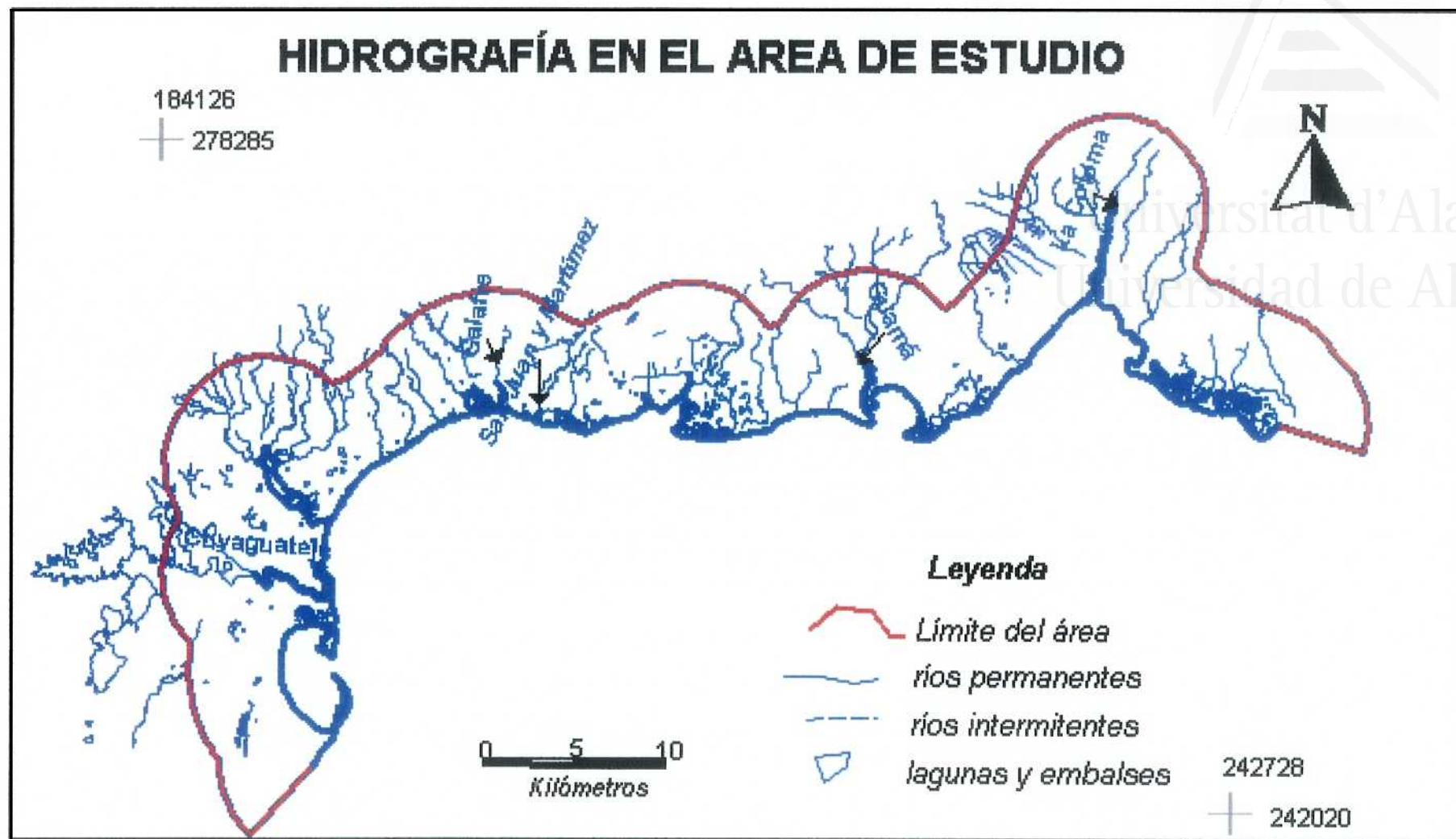


Figura 4.4: Hidrografía en el área.

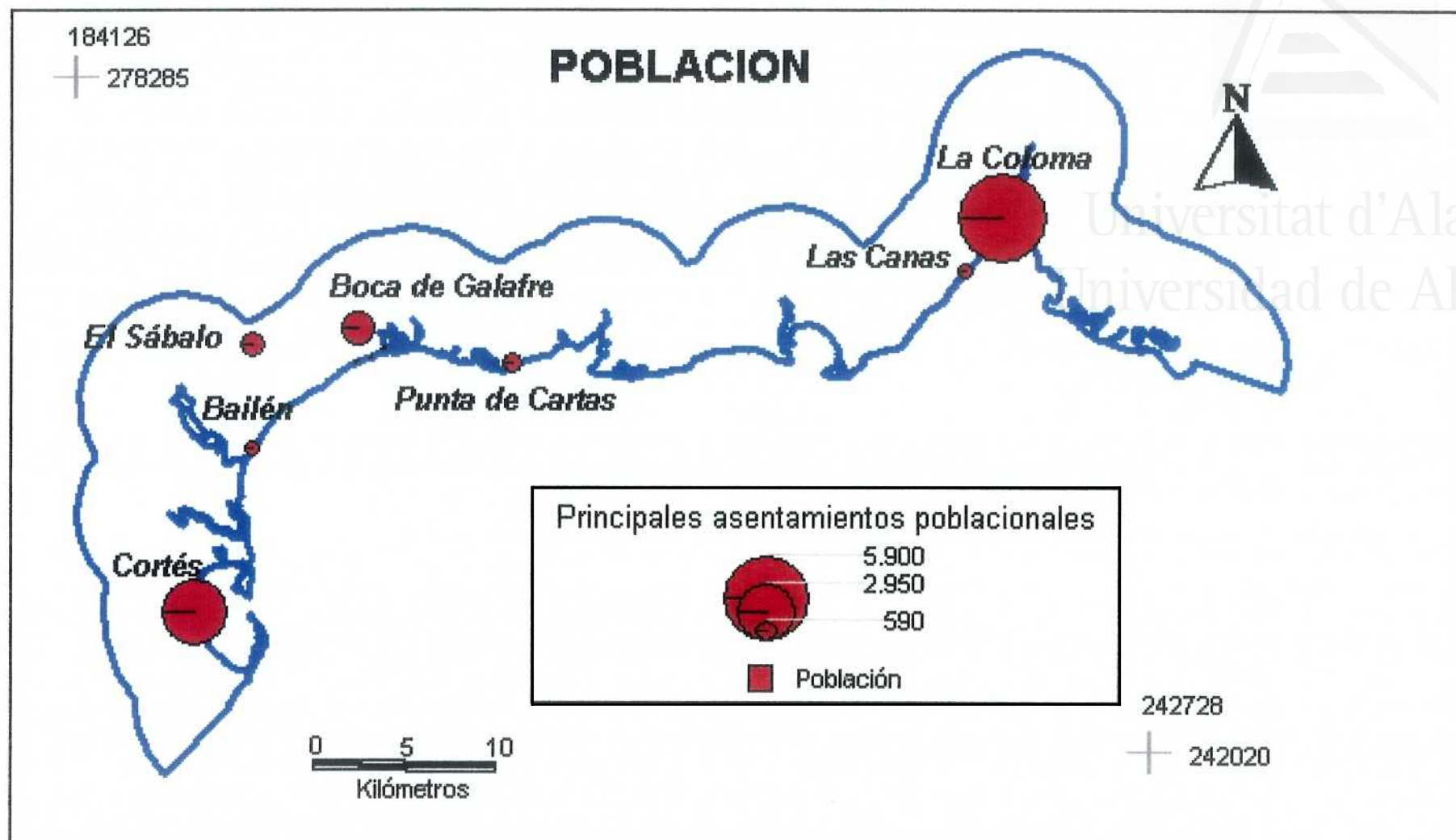


Figura 4.5: Asentamientos de población por cantidad de habitantes.

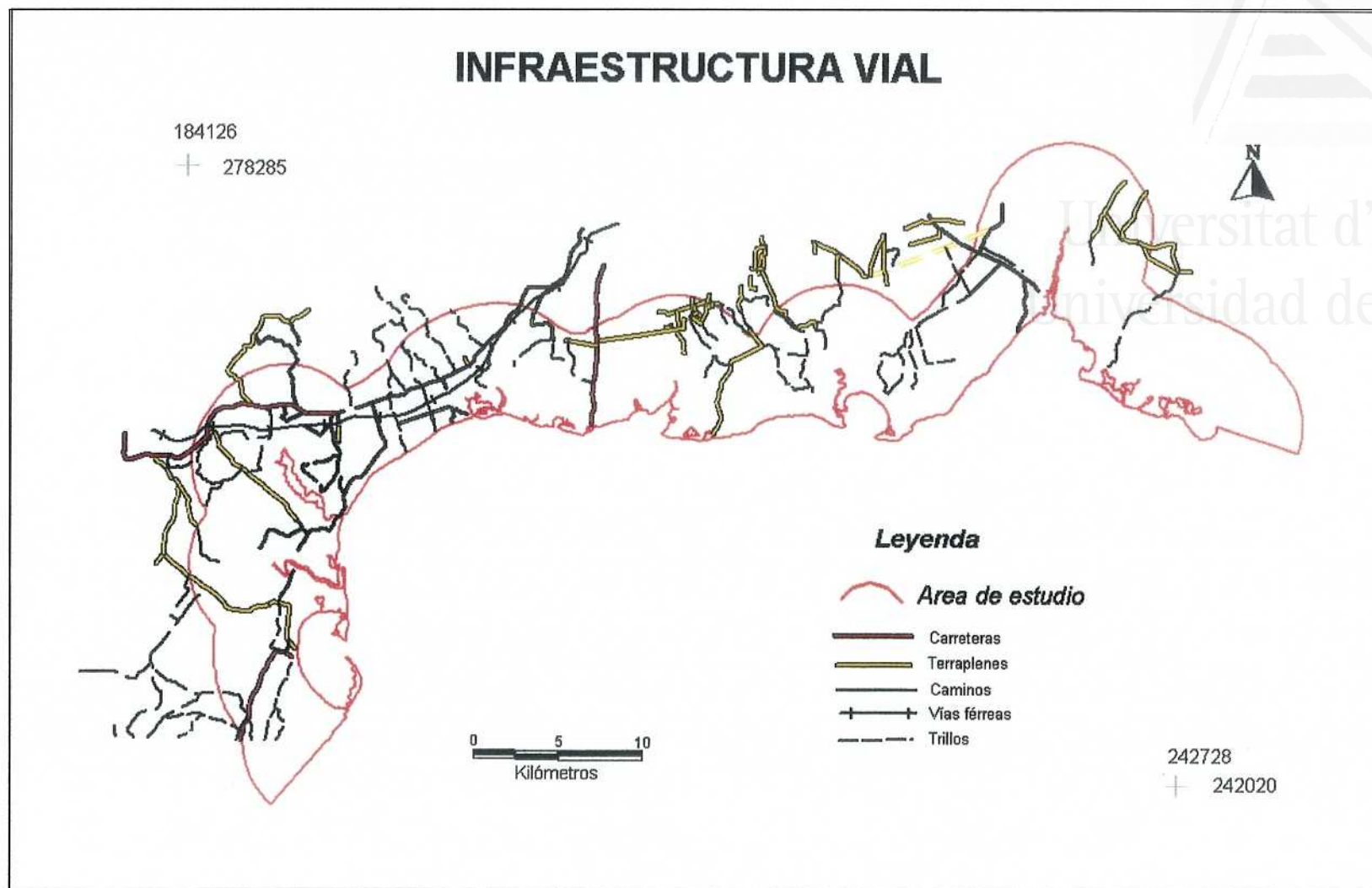


Figura 4.6: Red vial de acceso al área de estudio.

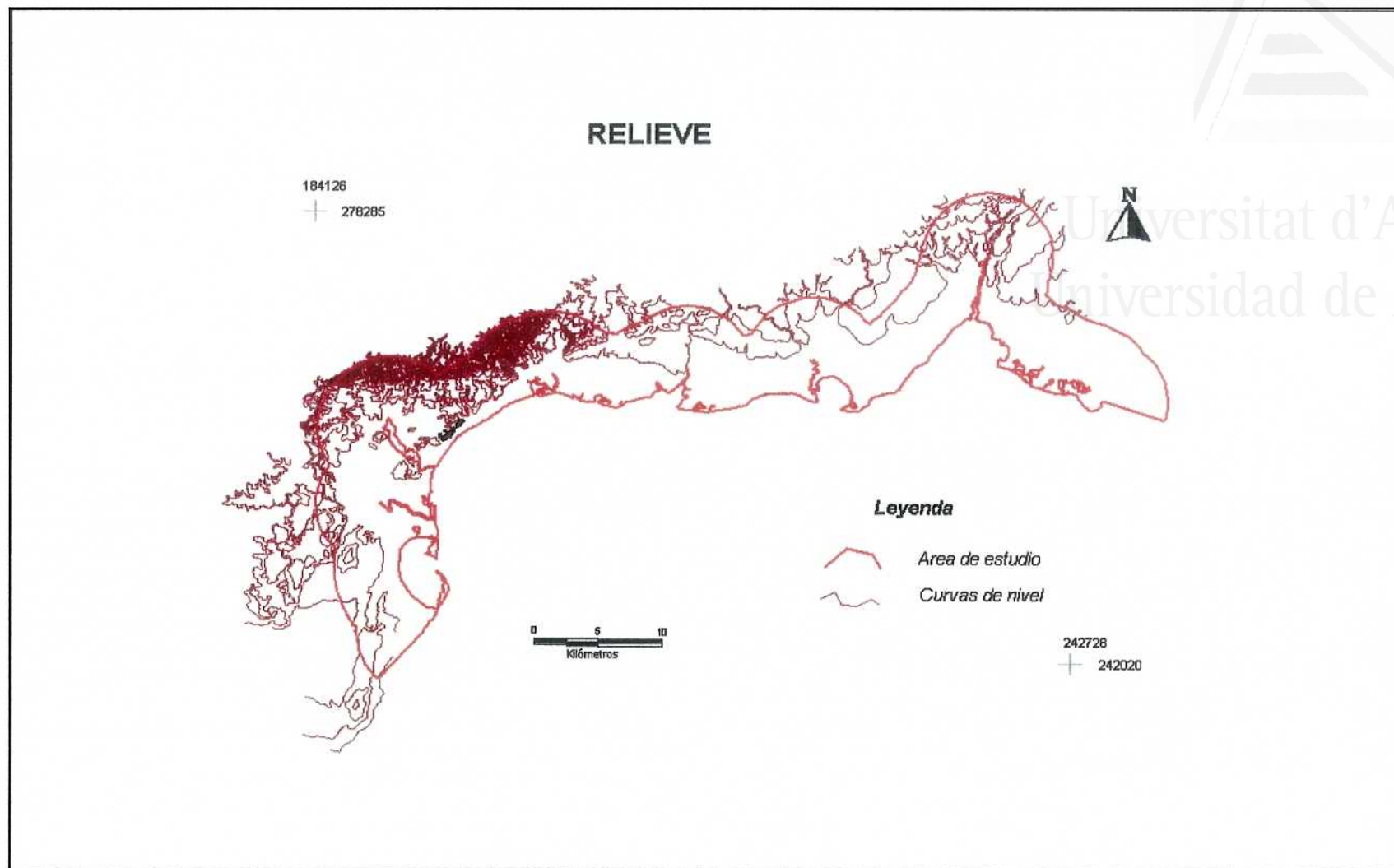


Figura 4.7: Distribución de curvas de nivel en el área.

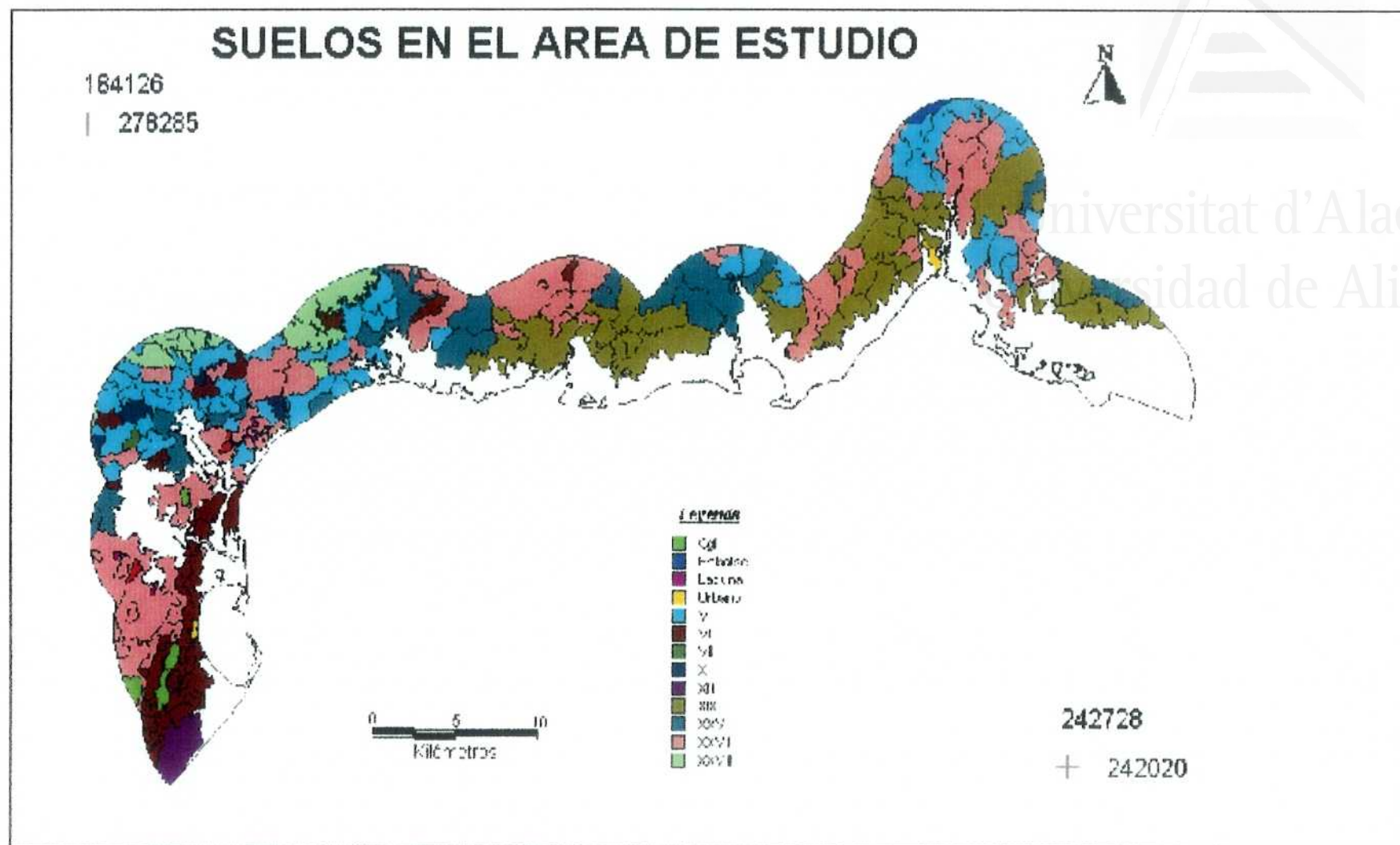


Figura 4.8: Tipos de Suelos.

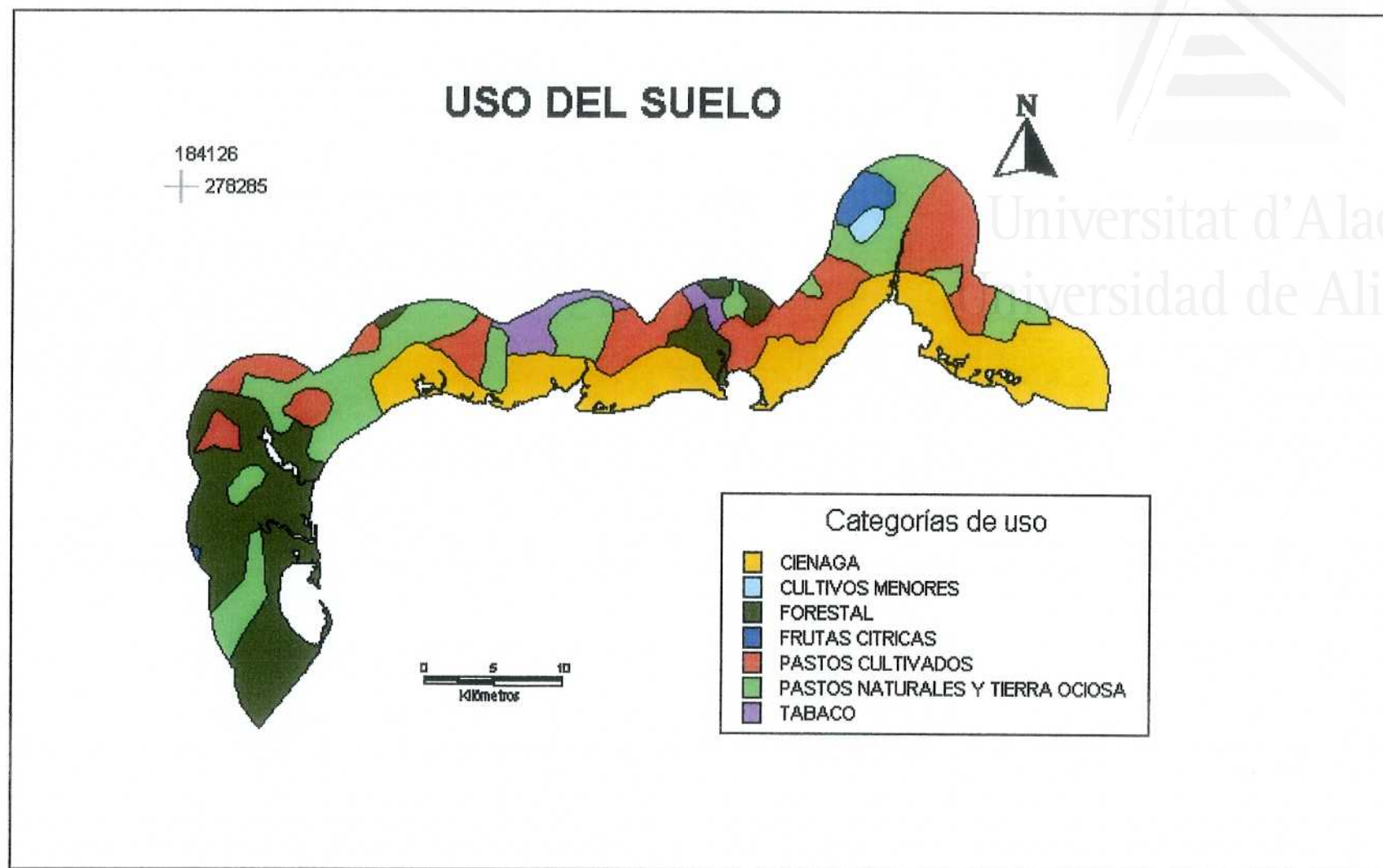


Figura 4.9: Forma de utilización del suelo.

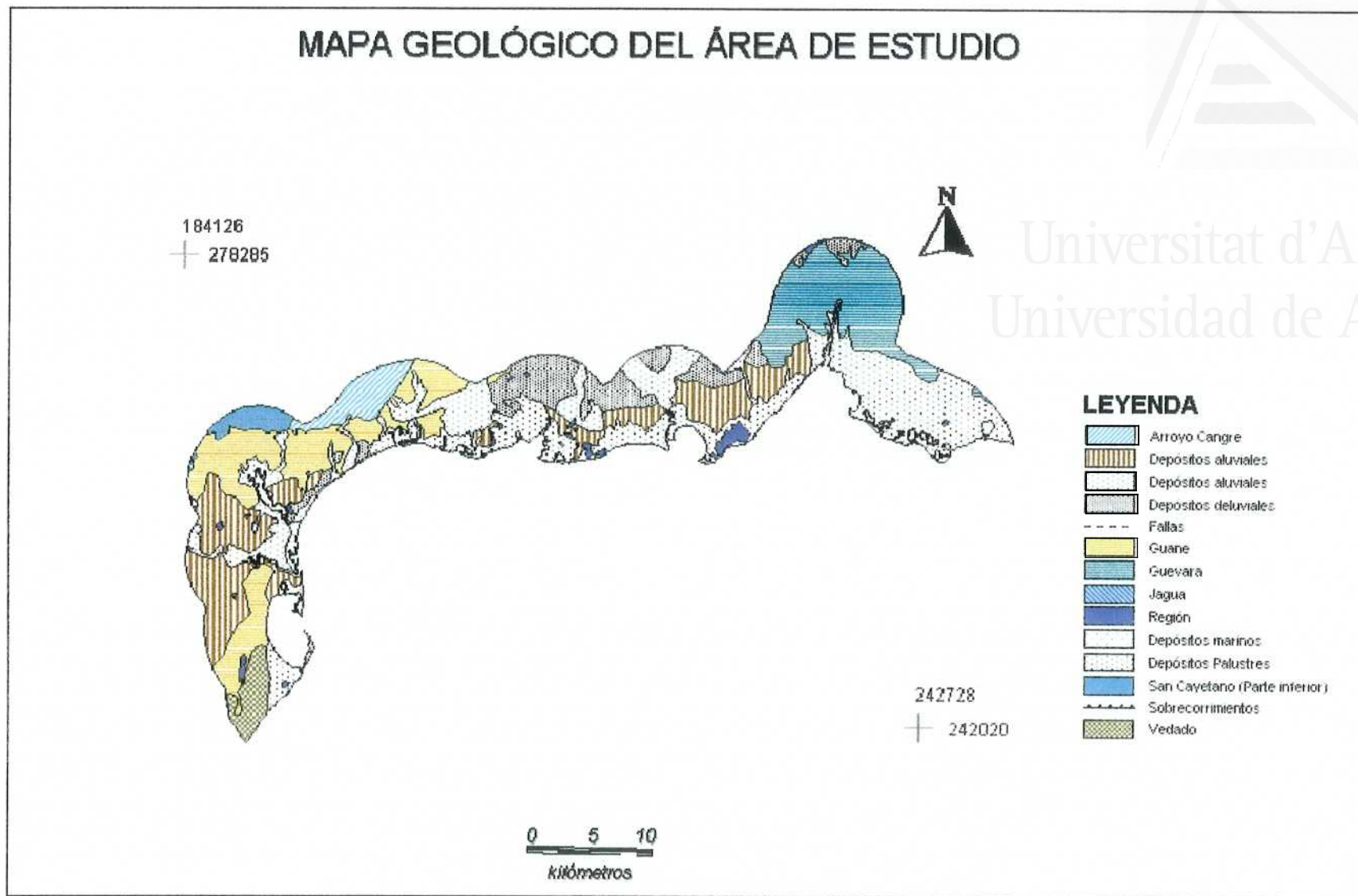


Figura 4.10: Formaciones geológicas del área de estudio

MODELO TRIDIMENSIONAL DEL RELIEVE



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

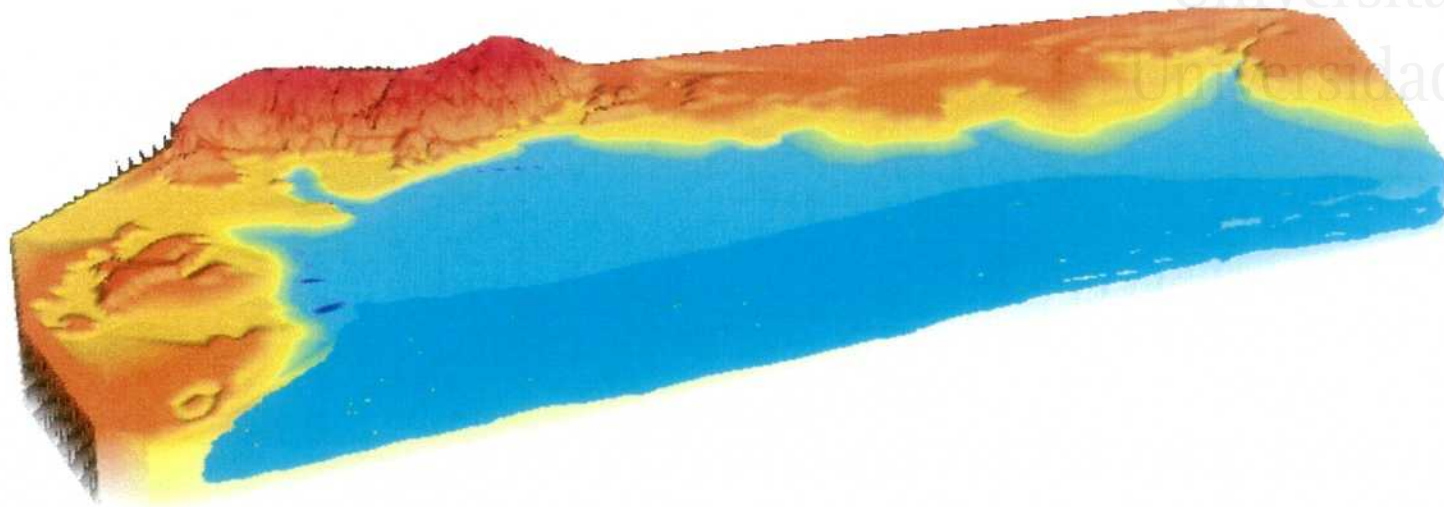


Figura 4.11: Modelo tridimensional del terreno confeccionado a partir del mapa del terreno.

4.2.2.2 Cartas náuticas

Como se puede apreciar en la tabla 4.3, las cartas náuticas utilizadas tienen diferentes años de impresión y también escalas distintas.

Tabla 4.3: Tabla de Cartas Náuticas utilizadas para el trabajo.

No. de carta	Título	Escala	Primera Edición
1860	Puerto de La Coloma y sus accesos: río La Coloma.	10000	1975
1576	Accesos al puerto de La Coloma (incluyendo Los Cayos de San Felipe).	50000	1985
1577	Ensenada de Cortés	50000	1985
1165	De Nueva Gerona a La Coloma.	100000	1975
1166	De Punta Santo Domingo a Cabo Corrientes	100000	1975
1147	De Los Cayos de San Felipe al Cabo Francés.	150000	1975

Estas cartas náuticas fueron utilizadas para la obtención de información sobre el fondo marino:

- ❖ Batimetría
- ❖ Arrecifes coralinos
- ❖ Beril
- ❖ Otros

4.2.2.3 Materiales de percepción remota

Para la realización del trabajo se consiguieron distintas imágenes de satélites tanto de la Landsat – 5 como de la Landsat – 7, utilizándose para la terminación del mismo un recorte de la Landsat – 7, que cubría casi en su totalidad el territorio de la Provincia de Pinar del Río. También fueron utilizadas fotografías aéreas de tres vuelos diferentes tanto en tiempo, escala como características técnicas de la toma, los cuales se detallarán en el epígrafe correspondiente.

Debe señalarse lo importante que es el papel que juegan los diferentes tipos de imágenes de percepción remota, tanto aéreas como de satélites para estos estudios, fundamentalmente de los recursos naturales.

4.2.2.3.1 Imágenes de satélite

Las imágenes satelitales de los programas actuales de observación de la Tierra juegan cada vez más un rol muy importante en la captura de información georreferida para el estudio de los recursos naturales y la cartografía de sus resultados.

Sin embargo, las imágenes *Landsat – 7* disponibles para los trabajos de la tesis ofrecen poca información cuando se requiere llevar a cabo el estudio detallado de los variados elementos que conforman los paisajes costero y submarino y, por lo general, no satisfacen los requerimientos de exactitud para la cartografía a grandes escalas (mayores de 1: 50 000). En este sentido, es necesario buscar otras alternativas, entre las que se encuentra la toma aerofotográfica de la plataforma marina y de sus zonas litorales adyacentes, para adquirir imágenes fotográficas a grandes escalas. No obstante, las imágenes satelitales resultan una buena opción para la cartografía y se han utilizado en Cuba desde la década de los años setenta.

Como se ha señalado, en el desarrollo de los trabajos experimentales se empleó una imagen de satélite correspondiente al *Landsat – 7*, tomada con el sensor *ETM+*.

Imagen de Satélite de Pinar del Río.*LANDSAT* – 7, resolución 30 m.

Fecha: 15 de noviembre del 2000

Imagen: 1745

Sensor *ETM+*

F: 6245

C: 7329

Las características de las imágenes *LANDSAT-7* son las que aparecen en la tabla 4.4:

Características del <i>LANDSAT-7 ETM+</i>		
Número de banda	Rango Espectral (μm)	Resolución radiométrica (m)
1 (Blue)	.450 to .515	30
2 (green)	.525 to .605	30
3 (red)	.630 to .690	30
4 (Near IR)	.775 to .900	30
5 (Mid IR)	1.550 to 1.750	30
6 (thermal IR)	10.40 to 12.50	60
7 (Mid IR)	2.090 to 2.35	30
8 (Panchromatic)	.520 to .900	15

Tabla 4.4: Características de la imagen *LANDSAT* – 7. (Fuente Cabral, et al, 1990), (Short, N.M., 1998)**4.2.2.3.2 Fotografías aéreas**

No cabe duda de que la opción más adecuada para el uso de fotografías aéreas es la realización de un levantamiento aéreo específicamente proyectado para la ejecución de una tarea dada. El levantamiento aéreo es una etapa fundamental en todo el proceso tecnológico de confección de mapas mediante fotografías aéreas, ya que a través de este proceso se obtiene la “materia prima” fundamental de este trabajo, y los resultados que se obtengan dependen de la calidad de las mismas. Sin embargo, debido a distintos factores, la autora de la tesis no pudo contar con la posibilidad de proyectar un vuelo aerofotográfico en interés de la tesis.

Las fotografías aéreas mencionadas a continuación se utilizaron en la investigación para la fotointerpretación de algunos elementos que no pudieron ser clasificados en la imagen de satélite; así como, para la selección de campos de entrenamiento, con el fin de apoyar el proceso de clasificación supervisada de esta imagen. También se utilizaron durante los trabajos de campo para la orientación en el terreno, así como para la foto - identificación y el estudio de la variabilidad del bosque de Manglar en el tiempo, dada ésta por los eventos naturales que han ocurrido durante el período que se analiza y la influencia generada por el hombre.

Las fotografías aéreas del año 1956 – 1957 se utilizaron con el objetivo de establecer conjuntamente con las fotografías aéreas del año 1997 – 1999 y la imagen de satélite del año 2000 que comprende el área de estudio la evolución cualitativa del ecosistema manglar y la influencia de la pérdida del mismo por los factores descritos en el Capítulo I en la dinámica de la erosión costera que sufre dicha zona.

Este trabajo que, de inicio, estaba propuesto para abarcar toda el área de estudio, se vio limitado por condiciones ajenas a la voluntad de la autora, por lo que fue necesario circunscribirlo a un sector de la misma, tomándose como área piloto para dicho objetivo casi toda la ensenada de La Coloma, hasta donde se limita la imagen de satélite.

Entre los factores que impidieron hacer extensivo todo el trabajo al área de estudio se encuentran:

- La escala de las fotografías aéreas del vuelo del 1956 - 1957 es de 1: 60.000 y su resolución disminuye, lo que hace que la fotointerpretación general y la clasificación de la vegetación en particular se dificultaran.
- La calidad del material, como tal, no fue la más adecuada, dado que gran parte del área hacia la zona del río Cuyaguaje y la ensenada de Cortés se encuentran cubiertas con gran nubosidad.

- La no existencia física de uno de los negativos aéreos que forma parte del área, hizo que se produjera un hueco o bache a la hora de confeccionar el fotomontaje.
- Las fotografías aéreas utilizadas fueron georreferenciadas con el programa *Envi* 3.5, utilizándose el receptor *Magellan* 320 en la determinación de los puntos de apoyo empleados en esta tarea y la base cartográfica digital de los *espaciomapas* confeccionados con la imagen de satélite.

Vuelo fotográfico realizado de 1956-1957

Cámara fotográfica T-11.

Distancia focal 154 mm.

Escala de las fotografías 1: 60 000.

Vuelo fotográfico general realizado los años 1970-1973.

Cámara fotográfica ____ ATA -TE

Distancia focal. _____ 144.44 mm

Escala de las fotografías en 1: 37500

Película utilizada PAN:33 PAN:36

Vuelo fotográfico realizado en el año 1997- 1999

Cámara fotográfica RC-8

Distancia focal 113,085 mm.

Escala de las fotografías en 1:30 000

Película utilizada AVIPHOT PAN 150

Estas fotografías corresponden al tipo de las tomadas con películas en blanco y negro, generalmente pancromáticas, con las que la fotointerpretación se realizó a través de distintos rasgos desenmascarantes, como los tonos de grises, las formas y las dimensiones de los objetos, entre otros.

4.2.2.4 Otros materiales e informaciones utilizados

Para ampliar la información mencionada en los epígrafes anteriores se consultaron otros materiales de carácter más amplio y otros de carácter más específicos como:

- ❖ Información asociada a los consejos populares. En esta se recoge básicamente los datos de población total, población rural y urbana, área total en km² y otras.
- ❖ Información asociada a otras capas temáticas, como tipos de suelo.
- ❖ Mapas confeccionados por la Delegación CITMA – PR con información de la esfera en cuestión.
- ❖ Información de los parámetros físicos, químicos y técnicos de las fuentes de abasto de agua.
- ❖ Información sobre los indicadores fundamentales que rigen la actividad de acueducto y alcantarillado por Consejo popular.
- ❖ Otras informaciones.

4.2.2.5 Toma de puntos de muestreo con GPS

Teniendo en cuenta que los Sistemas de Posicionamiento Global (**GPS**) se han puesto al alcance de todos en la etapa actual, esto ha permitido la posibilidad de situar puntos con gran precisión, de manera fácil y rápida. La amplia gama de receptores **GPS** permite que en cada caso se utilice el método, el tipo de equipo, variante y tiempo de duración de las observaciones para garantizar los resultados necesarios.

Actualmente, los sistemas de posicionamiento por satélite se emplean en una de las tareas más importantes del proceso de las imágenes: la captura de las coordenadas geodésicas de los puntos de apoyo y de control, que son empleados para poder llevar a cabo la georreferenciación o corrección geométrica de las fotografías aéreas e imágenes espaciales. También son utilizados en la determinación de las coordenadas de las zonas de entrenamiento para la clasificación supervisada de imágenes.

De esta forma, los trabajos de campo se han visto beneficiados, ya que se disminuyen los plazos e ejecución y los costos de los proyectos. La precisión en la obtención de las coordenadas mediante los sistemas de posicionamiento por satélite, es lo

suficientemente alta como para satisfacer las demandas de exactitud de la cartografía temática elaborada con ayuda de imágenes de percepción remota.

La desactivación de la disponibilidad selectiva en el sistema GPS de los EEUU, lo cual ocurrió en mayo del año 2 000, ha permitido elevar la operatividad de los trabajos, al poderse emplear el método autónomo con una mejor precisión.

4.2.2.6 Determinación de las coordenadas GPS (X, Y) mediante las mediciones de puntos geodésicos en la zona de estudio

Objetivo: Determinar las coordenadas planimétricas (X, Y) a partir de las coordenadas geográficas (φ , λ) tomadas con el GPS para la determinación de puntos de control y muestreo de coberturas para la clasificación supervisada de imágenes de satélite, correspondientemente.

Receptor GPS empleado: *MAGELLAN 320*

Método de medición: Autónomo

Aclaraciones técnicas:

- Las coordenadas se midieron manteniendo un valor de PDOP menor de 6 y de 5 a 6 SAT observados.
- *Datum* utilizado: WGS-84.
- Las coordenadas fueron medidas en grados, minutos y segundos.
- Las mediciones se realizaron con intervalos entre 15 y 30 segundos. Se hicieron aproximadamente 10 mediciones en cada punto. En algunos se apagó el receptor por espacio de unos minutos y luego se volvió a medir. Se tomaron los valores promedio de las mediciones.
- La transformación de las coordenadas elipsoidales obtenidas en el sistema WGS-84 a coordenadas planas rectangulares en el sistema geodésico nacional, se realizó mediante el convertidor de coordenadas del programa *ENVI 3.5*.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Resultados:

Día de las mediciones:

11 y 12 del mes de Septiembre del año 2002

Hora:

entre las 08:30 *am* y las 2:30 *pm*.

En la tabla 4.5 se muestran los resultados de la transformación de las coordenadas de los puntos tomados con el GPS en coordenadas planas.

Tabla 4.5: Resultado de las coordenadas de los puntos tomados en el área con el GPSNOMENCLATURA (Localización aproximada de los puntos de apoyo y de muestreo)	φ ° ' "	λ ° ' "	X m	Y m
Punto 1 Entronque de Carretera La Coloma con Km 18. Camino hacia el poblado de La Coloma se encuentra a la derecha y a la izquierda abundante pasto	22 16 18	83 37 22	223 199.6	289 753.8
Punto 2 Entronque Carretera La Coloma – Las Canas. Regresando del poblado La Coloma se observa mucho pasto a la derecha.	22 15 14	83 35 06	233 561.5	271 884.1
Punto 3 Muelle estación de Flora y Fauna en La Coloma. Combinado Pesquero La Coloma, Mucho Mangle	22 14 24	83 34 13	235052.5	270 320.6
Punto 4 (muestreo) Carretera Hacia Playa Las Canas. Pasto combinado, al Norte plantación de Eucaliptos, bosque semidesiduo mixto.	22 14 35	83 35 05	233569.6	276 684.3
Punto 5 Espigón en la zona turística de la Agricultura en Las Canas. Mangle en la costa perpendicular al espigón.	22 12 51	83 35 46	232 340.7	267506.2
Punto 6 Carretera que va de La Coloma al pueblo de San Luis. Vegetación arbustiva por todos los lados.	22 18 31	83 39 21	226 368.6	278 069.4

Punto 7 Puente Carretera a San Luis desde Carretera La Coloma.	22 18 14	83 40 11	226 359.4	277 546.6
Punto 8 Entronque del carretera a poblado Soledad desde Carretera a San Luis.	22 17 32	83 41 30	222 644.9	276 320.5
Punto 9 Entrada a pueblo Santa María en la Rotonda detrás de la escuela	22 17 10	83 42 12	221 397.6	273 820.3
Punto 10 Llegando al pueblo de San Luis Monte de Eucaliptos.	22 16 35	83 42 55	220 180.7	274 611.2
Punto 11 Entronque. Pasto a la izquierda	22 16 26	83 43 03	219 946.8	274 338.6
Punto 12 Palma barrigona izquierda y derecha.	22 16 33	83 43 20	219 263.5	263 461.1
Punto 13 Arroz a la derecha, pasto a la izquierda.	22 16 44	83 44 47	216 980.2	274 946.1
Punto 14 Entronque Corojo. Zona tabacalera.	22 15 35	83 46 47	213 506.5	272 887.2
Punto 15 Entronque Morejon.	22 17 12	83 48 53	209 955.6	275 937.1
Punto 16 Entronque Boca de Galafre. Marabú combinado con pasto.	22 11 37	83 55 01	119 224.4	265 835.7
Punto 17 Playa Boca de Galafre.	22 10 13	83 54 39	199 804.5	263 240.4
Punto 18 Plazoleta del Cabaret Los Pinos en Boca de Galafre.	22 10 03	83 54 34	199 941.8	262 930.1
Punto 19 Carretera Boca de Galafre	22 11 11	83 54 51	199 495.3	265 030.6

y Vía Férrea.				
Punto 20 Intersección de Carretera San Juan con entrada a zona turística Las Yaguas. Mucho Marabú a ambos lados de la Carretera.	22 12 04	83 54 07	200 786.8	266 636.1
Punto 21 Entronque de Carretera a San Juan. Una casa de tabaco grande.	22 16 53	83 49 52	208 256.1	275 384.5
Punto 22 Puente Río Feo, Carretera a San Juan. Vegetación arbustiva mixta con algunas áreas de cultivo a la izquierda.	22 21 20	83 44 58	216 820.2	283 439.5
Punto 23 Punto Geodésico Monumento en Río Feo. Chapa SV-P SDM PR	22 21 19 22 21 18 22 21 19	83 44 59 83 44 58 83 44 59	216 791.1	283 409.3
Punto 24 Puente río San Juan entrada al pueblo San Juan y Martínez. Vegetación mixta.	22 16 54	83 50 04	207913.2	275 421.7
Punto 25 (muestreo) Galafre. Arroz a ambos lados de la carretera con vegetación mixta.	22 13 08	83 53 09	202 485.4	268 572.3
Punto 26 (muestreo) Después de Entronque de Carretera San Juan a Playa Boca Galafre. Marabú muy fuerte.	22 11 34	83 55 08	199 022.2	265 747.4

Punto 27 Intersección Carretera San Juan a Guillén. Mucho Marabú a ambos lados de la intersección.	22 11 00	83 56 51	196 052.0	264 759.2
Punto 28 Entronque Playa Bailén.	22 10 48	83 57 16	195 042.4	264 409.0
Punto 29 Línea del tren en intersección de Carretera a Boca de Galafre.	22 10 21	83 57 16	195 312.5	263 574.0
Punto 30 Km 2 Carretera a Bailén. Pasto a ambos lados después del pasto a la izquierda arboleda compacta y mucha vegetación.	22 09 56	83 58 06	195 583.9	262 799.6
Punto 31 Playa frente al Restaurante de Playa Bailén.	22 07 25	83 58 07	193 743.3	295 098.3
Punto 32 (foto aérea) Centro de la entrada del Restaurante Playa Bailén	22 07 25	83 58 13	193 573.2	258 193.9
Punto 33 Uva caleta, mangle y laguna de oxidación de Playa Bailén.	22 37 05	83 56 05	197 246.6	258 429.5
Punto 34 (fotos aéreas) Laguna de oxidación Playa Bailén centro del centro comercial.	22 08 12	83 57 39	194 575.8	259 620.0
Punto 35 Entrada a las cabañas en Bailén	22 07 29	83 38 14	193 547.0	258 317.5
Punto 36 Entrada a vaquería en Carretera Bailén.	22 09 35	83 56 55	195 896.3	262 147.6

Punto 37 Bosque artificial de Eucalipto a la izquierda y pasto artificial a la derecha a la salida de Sábalo.	22 10 24	83 58 49	192 650.7	263 718.7
Punto 38 Carretera de Sábalo a Isabel Rubio. A la izquierda Marabú mixto con palma cana, a la derecha un bosque artificial de Eucalipto.	22 10 39	84 00 53	189 108.4	264 250.6
Punto 39 Intersección de ferrocarril con puente de carretera de Sábalo a Isabel Rubio. Área extensa de arena sílice.	22 09 58	84 03 06	185 273.6	263 066.5
Punto 40 Punto Geodésico, Fragua, estación de triangulación del 1967. A la izquierda carretera de Sábalo a Isabel Rubio.	22 08 59 22 08 59 22 08 59	84 03 57 84 03 57 84 03 57	183 775.9	261 281.9
Punto 41 Río Cuyaguaje, centro del puente. Chapa PC – 17	22 09 01 22 09 00	84 04 26 84 04 26	182 946.5	261 360.3
Punto 42 Entronque de Las Catalinas.	22 09 01	84 04 52	182 201.7	261 375.5
Punto 43 Carretera a Las Catalinas. Arroz fundamentalmente a la izquierda.	22 08 25	84 04 21	183 067.1	260 250.4
Punto 44 Río para la presa la ciénaga. Punto Geodésico 140 31, 1974.	22 08 17 22 08 17	84 04 16 84 04 16	183 205.4	260 001.5
Punto 45 Pastizal con palma cana a la izquierda y a la derecha marabú	22 05 07	84 03 31	184 375.9	254 132.5
Punto 46				

Entronque de Las Catalinas a Jovero. Marabú a la derecha y a la izquierda matas de marañón.	22 04 49	84 03 00	185 253.1	253 561.1
Punto 47 (foto aérea) Segundo muelle en el combinado del pueblo Cortés.	22 02 36	83 59 45		
Punto 48 Intersección de carreteras o calles en el pueblo de Cortés de carretera que va a La Martinas.	22 02 38	83 59 51	190 589 .8	249 424.0
Punto 49 Carretera de Las Catalinas a carretera Panamericana. Pinar con sotobosques a la derecha de la carretera pinos espaciados	22 04 10	84 02 01	186 919.9	252 327.7
Punto 50 Carretera hacia Sábalo, entronque que va hacia Aserrió.	22 10 27	83 56 36	196 461.8	262 736.1

4.3 Puesto de trabajo

Para la realización del trabajo se contó con el equipamiento mínimo adecuado y que a su vez garantizara los trabajos que se desarrollaron en la tesis.

4.3.1 Puesto de trabajo para el desarrollo del proceso digital y la implementación del SIGMAC

En este epígrafe se describen las características técnicas de los equipos utilizados para el trabajo y que a su vez garantizaron la obtención de los mismos con la calidad necesaria.

- ❖ Computadora personal con microprocesador Pentium IV 1,7 G Hz 40 Gb dHDD , 256 Mb RAM; 32 Mb video.
- ❖ Monitor *Acer v 771 17"*
- ❖ Impresora *Deskjet HP 880 – C*
- ❖ Escáner A – 3, *EPSON Expression 386 XL*, resolución 3200 DPI.

4.3.2 Software (Programas) básicos

Como ya se señaló, en los trabajos destinados a la implementación del **SIGMAC** el software básico que se utilizó fue el programa comercial **MAPINFO**, versión 5.5, y el software **ENVI 3.5** para el tratamiento de las imágenes y otras tareas.

Se prevé que en el futuro el **SIGMAC** se maneje por módulos específicos que abarquen las distintas esferas de la actividad de medio ambiente; la idea es desarrollar una aplicación SIG personalizada, que permita un mejor manejo del mismo, de acuerdo a las áreas de trabajo de la Delegación CITMA - PR. De esta forma, se manejarían las tareas vinculadas con:

- ✓ **Gestión Ambiental**
- ✓ **Impacto Ambiental**
- ✓ **Ordenación Ambiental**
- ✓ **Otros**

4.4 Procesos técnicos fundamentales para desarrollar el SIGMAC

En este epígrafe se hará una descripción pormenorizada de los procesos técnicos que se llevaron a cabo durante la realización del trabajo.

4.4.1 Digitalización masiva o escaneo

Para la digitalización masiva ("escaneo") de los mapas topográficos a escala **1 : 50.000** y **1 : 100.000** , se empleó un scanner, de formato **A-3**, **EPSON Expression 836 XL**, con una resolución de hasta **3200 DPI**. Las imágenes se archivaron con una extensión **.GIF** y posteriormente se pasaron a **.TIF**. Los planos topográficos se digitalizaron por partes y después se realizó el montaje de dichas partes para lograr las hojas completas.

4.4.2 Vectorización

Las imágenes de las bases cartográficas fueron vectorizadas en computadoras personales con microprocesadores *Pentium IV*. El proceso de vectorización de los elementos espaciales temáticos, se realizó básicamente mediante el software **MapInfo**

Versión 5.5. Las bases de datos alfanuméricas por atributos se manejaron y se exportaron al *software* básico para la realización del trabajo.

4.4.3 Carga de la Base de Datos Alfanumérica

La carga de la base de datos se llevó a cabo paulatinamente. Como se ha planteado, la tarea de la creación de las Bases de Datos alfanumérica se llevó a cabo fundamentalmente mediante las posibilidades que brinda el *Mapinfo 5.5*.

4.5 Proceso digital de la imagen de satélite

El proceso digital de la imagen es un componente importante y vital a la hora de darle cumplimiento a los objetivos propuestos, una acertada combinación de bandas facilitaría en mucho el trabajo, en este caso de fotointerpretación general de la zona y en particular de la clasificación de la vegetación de manglar.

4.5.1 Proceso inicial. Clasificación de la imagen de satélite

El área de estudio en la zona de la costa Sur – Oeste de la provincia de Pinar del Río está cubierta por la imagen satelital 1745 con fecha 15 de noviembre del 2000 del sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)* (Nivel L1G producto LPGS – *GeoTIFF*) del satélite norteamericano *LANDSAT – 7*, en la banda pancromática, como puede apreciarse en la figura 4.12.

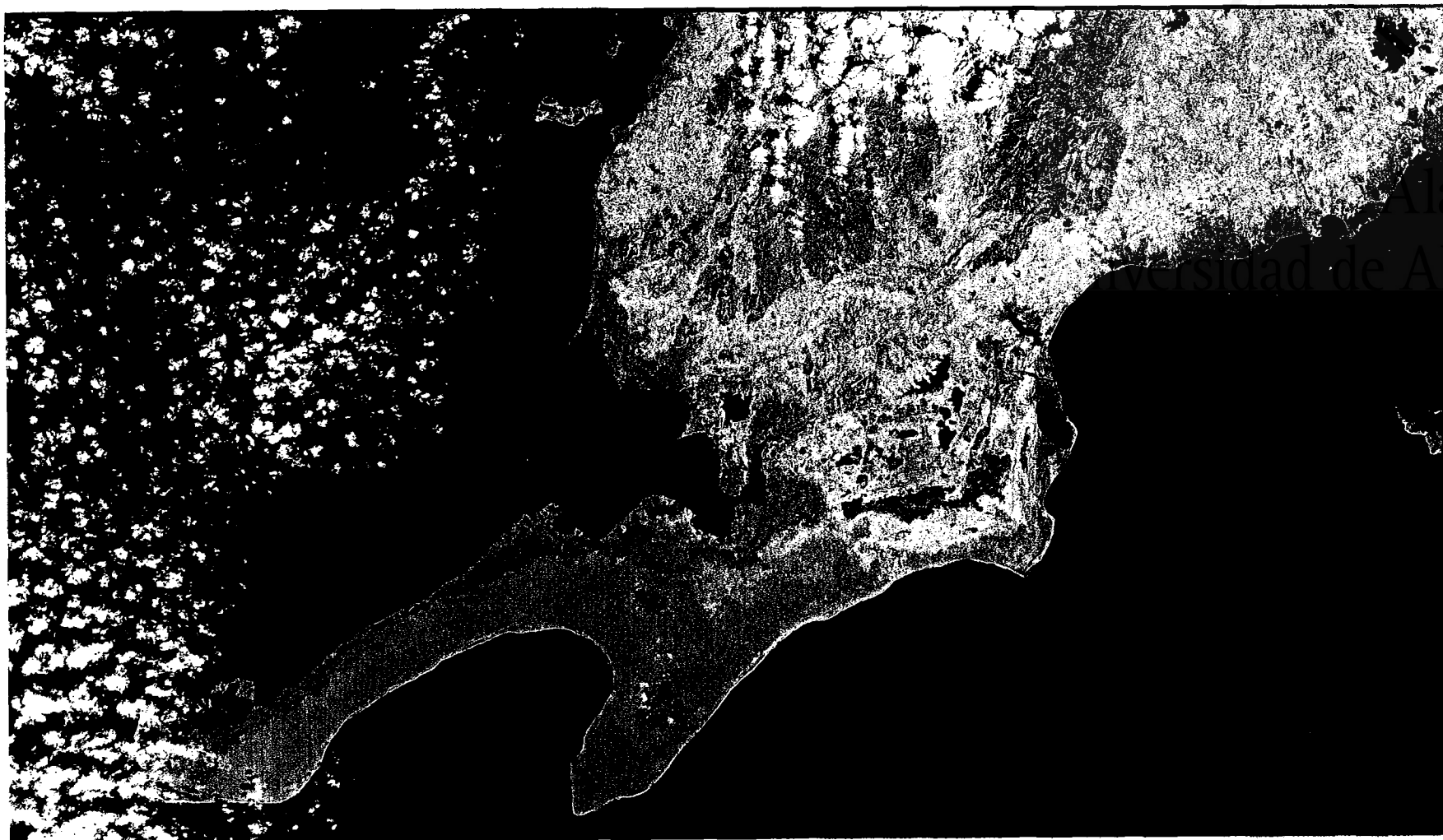


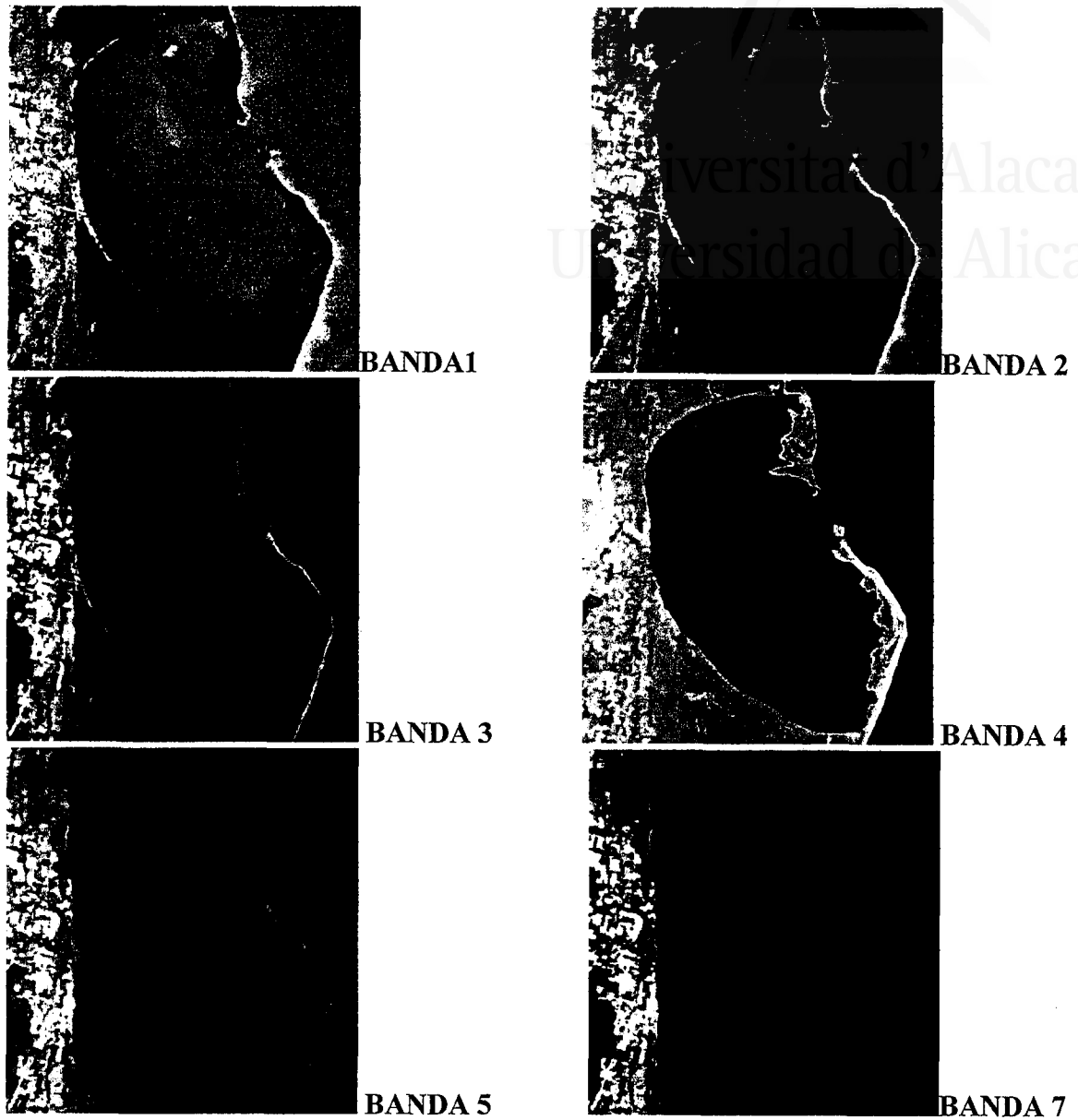
Figura 4.12: Imagen de satélite de la LANDSAT 7 del año 2000 de donde se obtuvo el recorte del área de estudio.

Para el proceso de la imagen se utilizó el software *ENVI 3.5*, que es un software de tratamiento de imágenes aeroespaciales para aplicaciones relacionadas con las ciencias de la tierra.

Primeramente, mediante el software *ENVI 3.5*, se realizó el recorte de la escena que cubría toda la zona sujeta a estudio, abarcándose un espacio mayor que la misma. Seguidamente, las bandas espectrales se corrigieron por efecto de la atmósfera y se transformaron los valores de ND de los píxeles a magnitudes de reflectancia. Con ellas se llevaron a cabo distintas combinaciones de bandas, eligiéndose preliminarmente las combinaciones siguientes: R3,V2,A1 (color verdadero), R4,V5,A7 (falso color) y R4,V3,A2 (falso color). Se analizaron más detalladamente estas combinaciones, eligiéndose las dos primeras, por sus elevadas propiedades informativas sobre el paisaje, como puede apreciarse en las figuras 4.3 y 4.4 respectivamente.

En la figura 4.13 se presentan ejemplos de cada una de las 8 bandas con que trabaja la imagen de la LANDSAT y la figura 4.14 se presenta la corrección de bandas por efecto de la atmósfera.

Figura 4.13: BANDAS DE 30 m DEL LANDSAT-7



BANDA 6 TERMICA (60m) Y BANDA 8 PANCRÓMATICA (15m) DEL LANDSAT-7

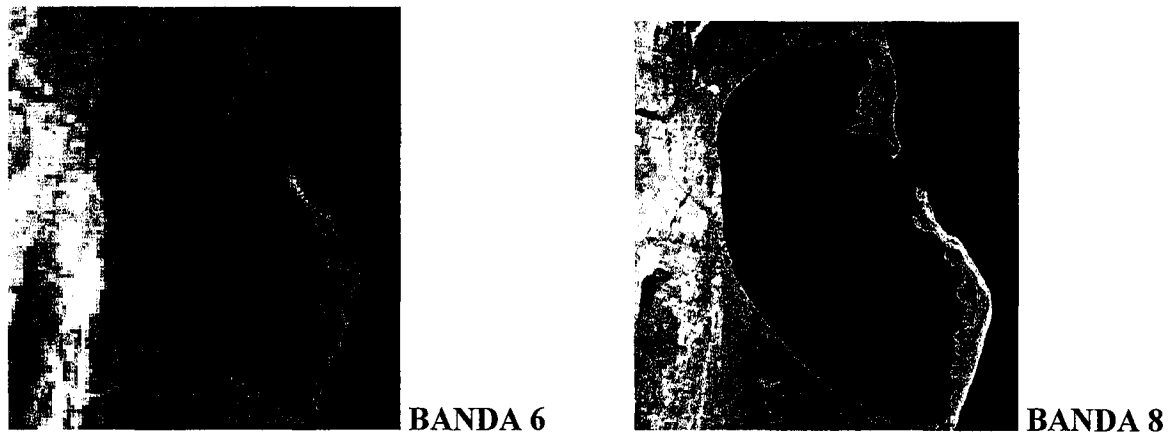


Figura 4.14: CORRECCION DE LA BANDA 1 POR EFECTOS DE LA ATMOSFERA



SIN CORRECCION



CORREGIDA



COMBINACION DE BANDAS: R3,V2,A1



COMBINACION DE BANDAS: R4,V5,A3



REGION DE ESTUDIO

Se llevó a cabo una fusión de la banda 8 (pancromática) de resolución espacial de 15 metros con las dos combinaciones de las bandas espectrales (R3,V2,A1; R4,V5,A3) de 30 metros, lográndose dos imágenes en colores, restauradas a 15 metros de resolución espacial.

Se analizaron los resultados obtenidos. Se definió que la combinación de bandas en color verdadero (R3,V2;A1) daba una información muy valiosa para definir la cobertura del suelo y para la detección y selección de los puntos de apoyo homólogos con el mapa topográfico base, fundamentalmente de los cruces de viales. Por otra parte, la combinación R4,V5,A3 permitía una clara definición y clasificación de las coberturas de mangle, zonas pantanosas y de otros elementos de interés para los estudios que se realizan.

Se llevaron a cabo distintas clasificaciones no supervisadas para definir el número de clases que se obtenían con una buena separación. Posteriormente se realizó la clasificación supervisada de la imagen por el método de *Isodata*. Los resultados fueron evaluados y se determinó que la cobertura de manglares obtenida se ajustaba a la realidad, a partir del análisis de las matrices de confusión obtenidas.

4.5.2 Confección de los espacio - mapas

Efectuar una cartografía de esta zona por métodos tradicionales es altamente costoso y lento, debido a diversos factores ya mencionados. La teledetección constituye una eficaz herramienta para realizar dicha cartografía en forma detallada en el menor tiempo posible y a bajo costo.

El presente resultado es muy importante para las actividades que tienen que ver con la obtención de bases cartográficas temáticas actualizadas a partir de imágenes de Percepción Remota sede satélite, que son utilizadas en el desarrollo y la actualización de los Sistemas de Información Geográfica, ya que a partir de aquellas se nutren las bases cartográficas digitales (BCD) a escalas medias y pequeñas (1:25 000 – 1:250 000). Otras aplicaciones están relacionadas con la posibilidad de realizar monitoreos periódicos de extensos territorios, llevar a cabo diagnósticos de recursos naturales y

otras tareas de interés para las geociencias. Por otra parte, para los aspectos relacionados con el medio ambiente y otras cuestiones de carácter físico – geográficas y socioeconómicas, la utilización de espacio-mapas resulta de gran utilidad para capturar información georreferenciada.

Se realizó el recorte del área en la imagen de satélite y se procesó digitalmente la imagen, realizándose las correcciones geométricas y radiométricas. Se definió cuáles eran las bandas espectrales a utilizar para tales objetivos, figura 4.15 y las escalas de representación cartográficas que garantizaran la exactitud gráfica, según la resolución de la imagen empleada. Se analizó la factibilidad y necesidad de implementar este método cartográfico por sus resultados económicos.

Entre otros materiales utilizados de apoyo están los Mapas Topográficos a escala 1:50.000 de la zona, mediante los cuales se obtuvieron las coordenadas de los puntos utilizados en la georreferenciación mediante el programa *ENVI 35*.

Se confeccionó, un espacio-mapa a escala 1:300.000: figura 4.16 y 4 espacio-mapas: figuras 4.19, 4.20, 4.21 y 4.22, por sectores del área de estudio con la utilización de las siguientes bandas y combinación R4, V5 y A7 a escala 1 : 100.000. Los cuatro espacio-mapas obtenidos a escala 1:100.000 se solapan entre sí, y para su impresión tuvo que ser necesario la reducción de la escala de los mismos a 1: 120.000.

Con las 3 primeras bandas del *ETM+* se efectuó una composición a color *RGB* donde por el *cañón* Rojo se colocó la banda 3, por el Verde la 2 y por el Azul, la 1 (figura 4.17). Se aplicó un mejoramiento a la imagen para obtener un adecuado contraste visual y enfatizar o suprimir ciertas características de la imagen, obteniéndose un espacio-mapa a escala 1 : 300.000.

Además, las imágenes obtenidas mediante la clasificación fueron también georreferenciadas con los mismos puntos de apoyo obtenidos para la confección de los espacio-mapas y se obtuvo un espacio-mapa de la clasificación de la vegetación en el área de estudio, la cual puede apreciarse en la figura 4.18.



Figura 4.15: Recorte de la imagen de satélite de Pinar del Río, bandas y combinación utilizadas R4, B5, A7

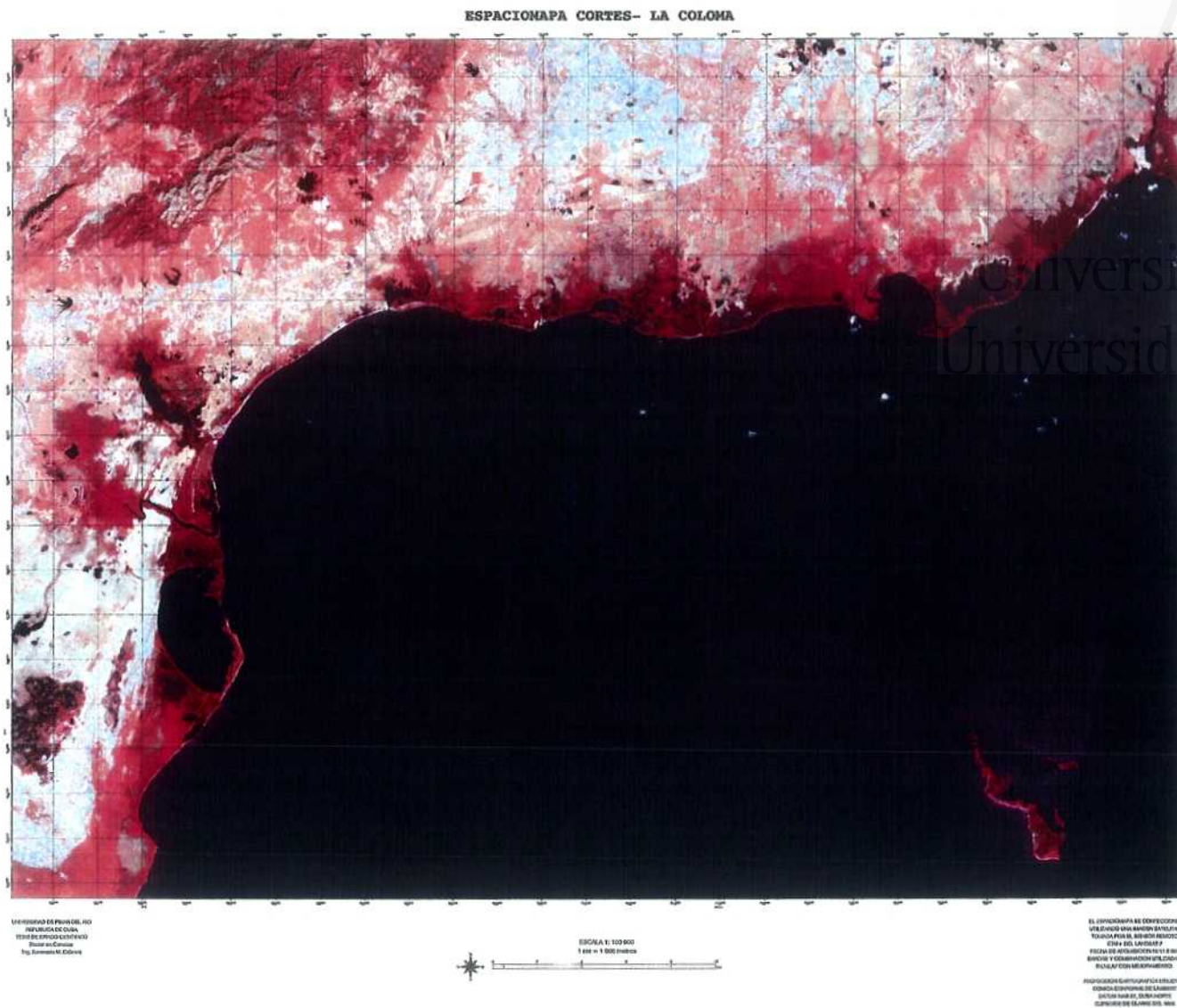


Figura 4.16: *Espaciograma* del área de estudio completa, bandas y combinación utilizadas R4, B5, A7

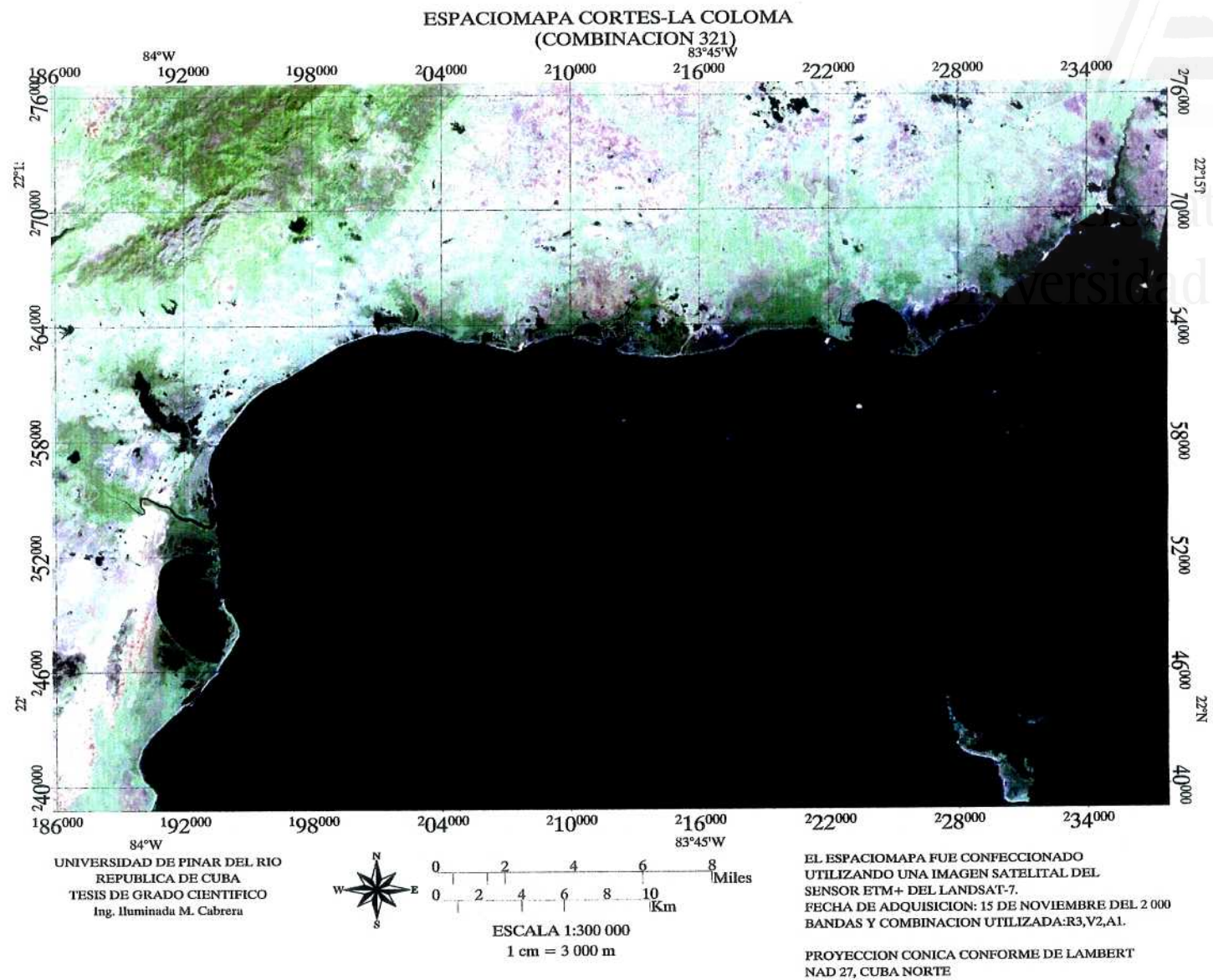


Figura 4.17: *Espaciomapa* del área de estudio completa, bandas y combinación utilizadas R3, B2, A1

ESPACIO MAPA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN

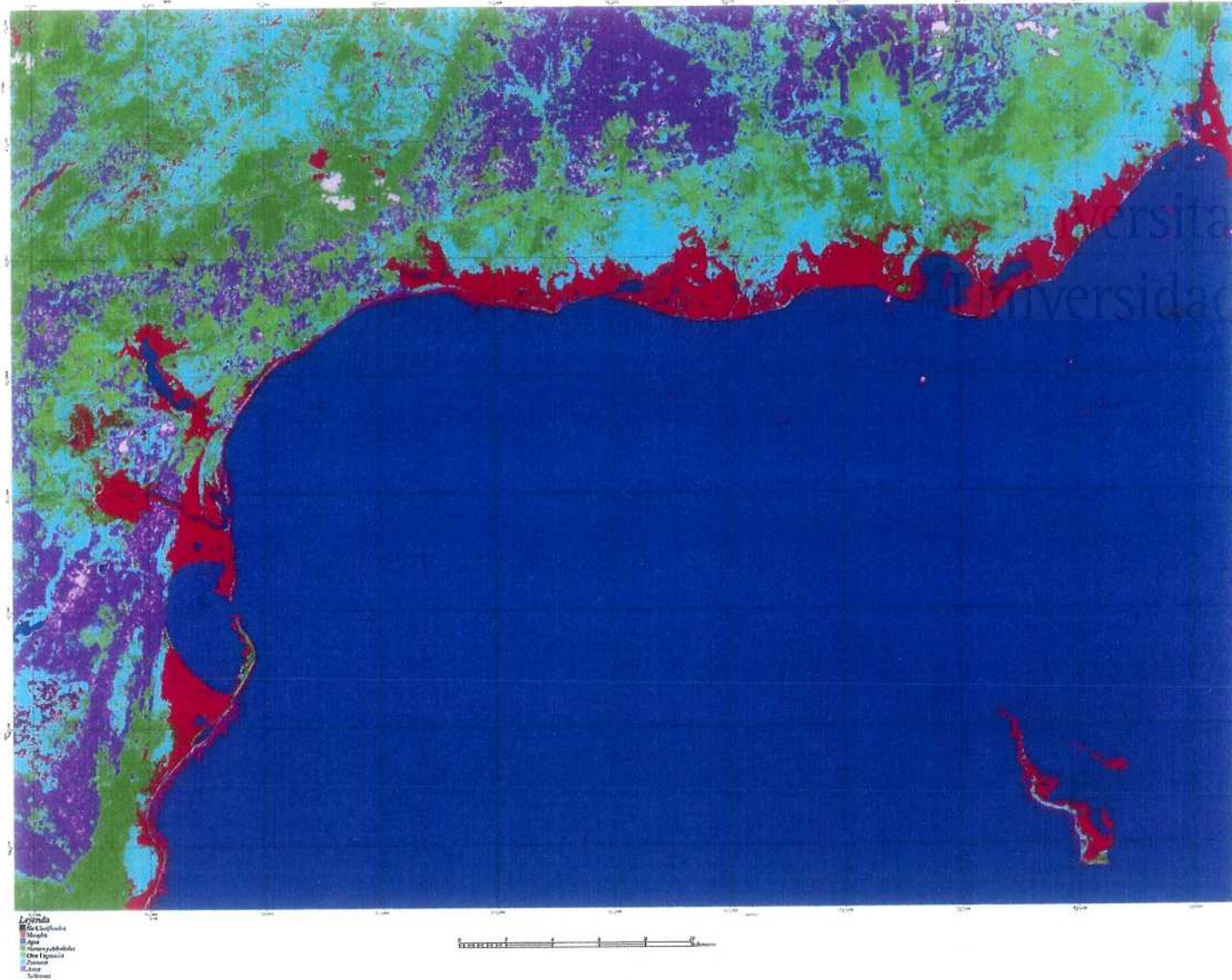


Figura 4.18: Clasificación de la Vegetación en el área de estudio destacándose en color rojo la vegetación de manglar.



Figura 4.19: Espaciomapa de la Ensenada de Cortés, bandas y combinación utilizadas R4, B5, A7.

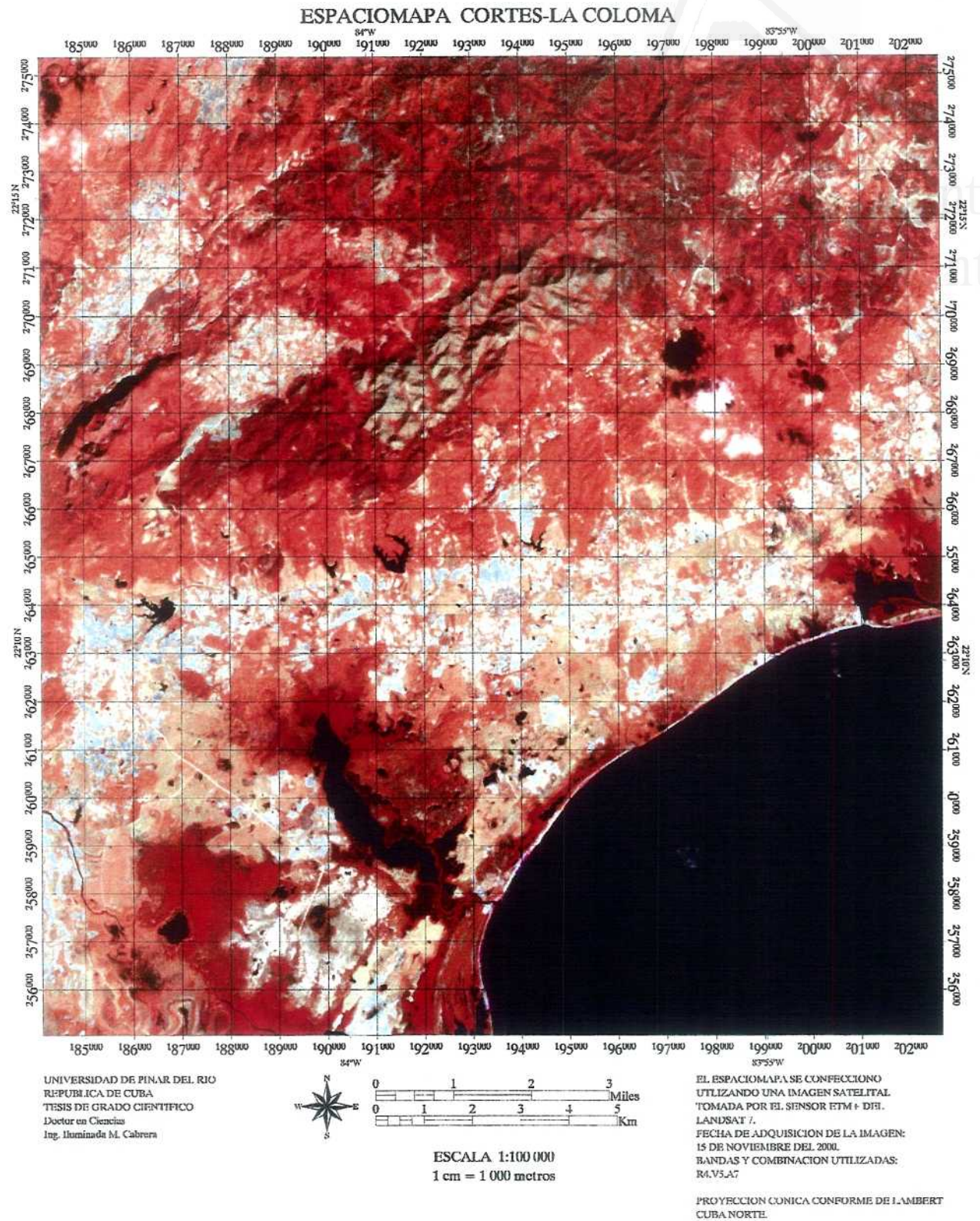


Figura 4.20: *Espaciomapa* de la Laguna El Cheve y Playa Bailén, bandas y combinación utilizadas R4, B5, A7.

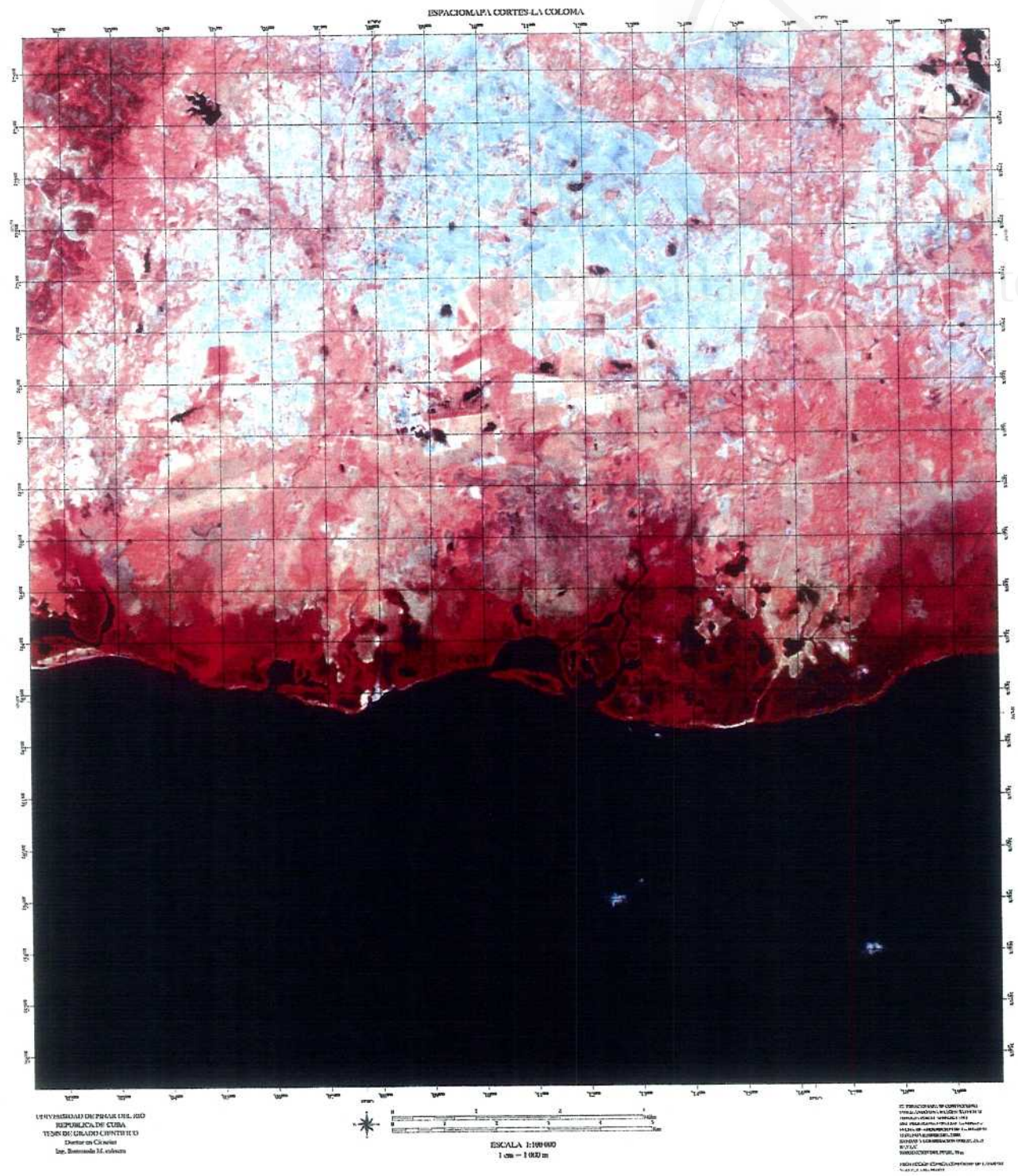


Figura 4.21: Espaciomapa de Playa Boca de Galafre y Punta de Cartas, bandas y combinación utilizadas R4, B5, A7.

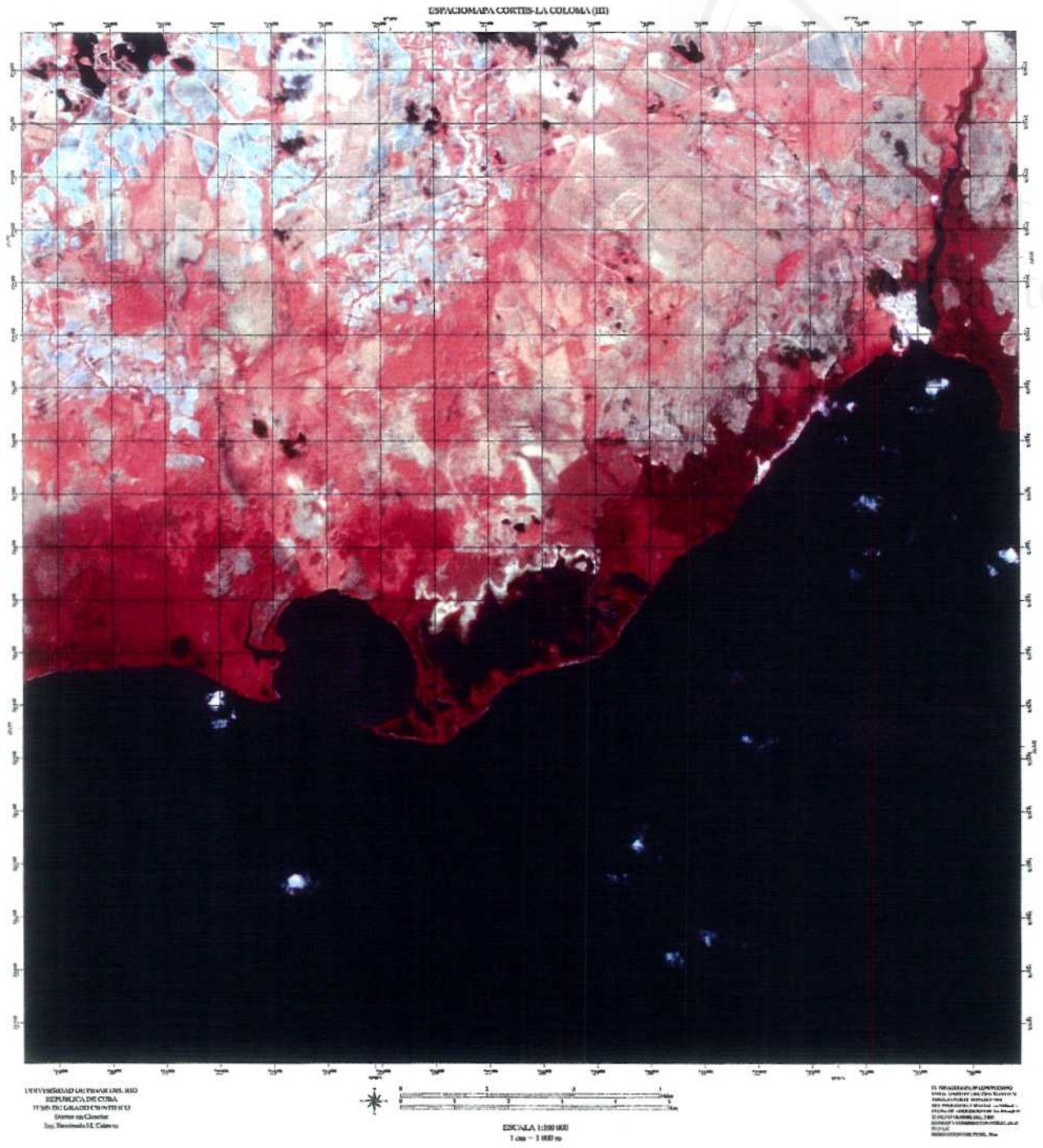


Figura 4.22: *Espaciograma* de la Ensenada de Guamá y Ensenada de la Coloma, bandas y combinación utilizadas R4, B5, A7.

4.5.3 Uso de la información satelital en el SIG

Mediante los espaciomapas y las imágenes clasificadas se actualizó y precisó la base planimétrica obtenida con la ayuda de los mapas topográficos. Para ello, por ejemplo, se vectorizaron los elementos nuevos que no aparecían en éstos y se rectificaron los que habían tenido cambios en el transcurso del tiempo, como es el caso de los límites de la cobertura de manglar.

4.6 Propuesta de la actualización de la información cartográfica temática mediante las tecnologías de avanzada

Uno de los objetivos principales del presente trabajo es resaltar la importancia que para la actualización de la información de la cartografía temática tiene, las técnicas de avanzada de la geomática aplicada como son: los Sensores Remotos (SR), Los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), la Cartografía Digital (CD), la Fotogrametría Digital (FD) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

4.6.1 Uso de imágenes satelitales de muy alta resolución espacial

Como se ha señalado, en la actualidad existe la posibilidad de emplear imágenes de satélite de muy alta resolución (1- 4 metros). Entre dichas imágenes se encuentran las del programa norteamericano denominado IKONOS y del programa ruso RESURS Y KOMETA.

El empleo de dichas imágenes permitiría llevar a cabo los estudios de forma más detallada y la cartografía a grandes escalas.

4.6.2 Propuesta de empleo de sistemas de posicionamiento por satélite diferencial

En las investigaciones realizadas en la tesis el receptor GPS que se empleo fue el Magellan 320, que da una precisión entre 10 y 15 m. Se propone para estudios posteriores el uso de un sistema GPS diferencial que de la posibilidad de obtener una precisión de alrededor de 1 m con el fin de poder asegurar la determinación de las coordenadas de los puntos de apoyo con la exactitud requerida para la georreferenciación de las imágenes satelitales de muy alta resolución, entre otras tareas vinculadas con la cartografía temática a grandes escalas.

4.6.3 Propuesta de la implementación del SIGMAC mediante el software ARCVIEW versión 8.0

El empleo del *ARCVIEW* versión 8.0 o del módulo *espacial analyst* de *ARCVIEW* v.3.2, permitirá la ejecución de análisis raster que son necesarios para llevar a cabo toda una serie de tareas que el *MAPINFO* 5.5 no permite.

4.7 Consideraciones especiales para el área de estudio

Dentro de las consideraciones especiales se debe tener en cuenta que el área de estudio ha sido afectada de forma general recientemente por dos ciclones que en 17 días causaron daños, que la reparación de éstos conllevaría a todo un plan de manejo que se recomienda se haga a partir de fotografías aéreas e imágenes de satélite tomadas posteriormente al paso de los mismos, lo cual permitiría hacer toda una evaluación de estos daños.

4.7.1 Características de los ciclones Isidore y Lili

Como resultado de las investigaciones realizadas, concluidas prácticamente en agosto del 2002, se pudo evaluar el estado del recurso manglar y de otros ecosistemas del territorio de estudio. Sorpresivamente, después de 13 años sin afectaciones, en el mes de septiembre, este territorio fue azotado por dos ciclones de alta intensidad (Isidore y Lili), que ocasionaron serias afectaciones a los ecosistemas y a la infraestructura socioeconómica del mismo.

Isidore

Comienza a afectar el territorio desde el día 19 de septiembre de 2002, y un día después su centro toca tierra por el sur de la península de Guanahacabibes, asolando fuertemente el extremo más occidental de Pinar del Río con vientos máximos sostenidos de 165 km/h (categoría II en la escala Saffir – Simpson) y rachas superiores que fueron estimadas de hasta 250 km/h. El mismo se desplazó por tierras pinareñas con muy poco movimiento, lo que hizo que su región central permaneciera en tierra alrededor de unas 6 a 8 horas aproximadamente, manteniendo las áreas de lluvias y fuertes vientos con penetraciones del mar en toda la costa sur con

inundaciones costeras en La Fé y la ensenada de Cortés, provocando innumerables daños y afectaciones en toda la provincia.

Figura 4.23: Trayectoria del Isidore

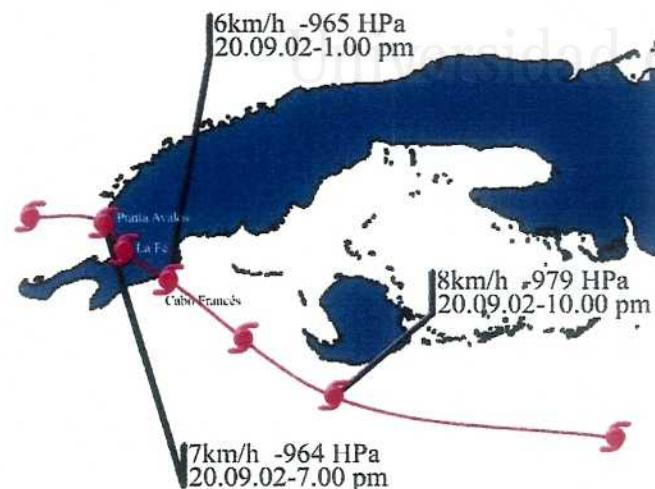


Figura 4.24: Fotos de los daños ocasionados por Isidore



Foto 1: Condiciones de las construcciones rurales después del paso del ciclón.



Foto 2: Carreteras obstruidas completa y parcialmente después del paso del ciclón.

LILI:

El huracán Lili formado en el mes de septiembre se desplaza por el mar Caribe y alcanza la categoría de huracán al sur de la región central de Cuba, pero su movimiento al oeste - noroeste lo hace llegar a la provincia el día 1º de octubre del presente año después de haber incrementado su velocidad de traslación entre 28 y 30 kilómetros por hora.

Este organismo, según información de un avión de reconocimiento, llega a la costa sur - occidental con vientos máximos sostenidos de 160 km/h (categoría II en la escala Saffir – Simpson), y según la información suministrada por el radar meteorológico de La Bajada y la red de radioaficionados el centro de este huracán penetra entre La Salina y Cortés, reportándose la calma vorticial también en Playa Bailén e Isabel Rubio donde se encuentra una de nuestras estaciones meteorológicas, hace su salida del territorio por un punto próximo a Arroyos de Mantua.

Lili atraviesa el territorio en una hora y 15 minutos aproximadamente. También produjo fuertes penetraciones del mar en toda la costa sur. Los daños de este ciclón tropical se consideran catastróficos, fundamentalmente en las zonas de San Juan y Martínez, playa Bailén, Galafre, Punta de Carta, La Coloma, playa Las Canas, el Entronque de Herradura donde destruyó una cuadra de viviendas.

Figura 4.25: Trayectoria del Lili

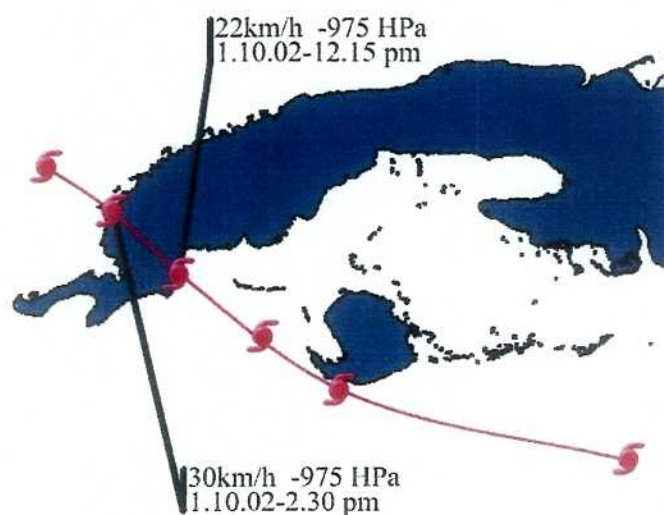


Figura 4.24: Fotos de los daños ocasionados por Lil, en el sector poblacional.



Foto 3: Condiciones en que quedaron las viviendas en Playa Boca de Galafre.



Foto 4: Una curiosidad dejada por el ciclón a su paso



Fotos 5 y 6: Condiciones en que quedaron las viviendas en el poblado de Cortés después del paso de los dos ciclones en tan poco espacio de tiempo.

El paso de los huracanes por esta zona ha dejado huellas funestas tanto para el entorno natural como el entorno social en toda el área de estudio comprendida.

Estos eventos meteorológicos afectaron seriamente la franja de manglar que bordea tanto la Ensenada de La Coloma, la Ensenada de Guamá así como la ensenada de Cortés, y si a esto le sumamos que este ecosistema se caracterizaba por un marcado deterioro antes del huracán, hoy las condiciones del mismo son alarmantes, a partir de que más del 90 % de estas áreas han sido dañadas, situación esta preocupante, si tenemos en cuenta la importancia que revisten estos bosques para el ecosistema costero en general. Es importante destacar en este sentido que las comunidades costeras carecen de adecuadas redes sanitarias lo que ha provocado la contaminación de las aguas interiores y marinas, sufriendo la población niveles considerables de contaminación como resultado del avance de la curva de salinidad, sumado a esto la tala del bosque de manglar entre otras causas y por otro lado la cercanía de los pozos al litoral costero. Hay que señalar que la calidad del agua en esta zona es mala, en los poblados, a excepción del poblado de La Coloma, se utilizan letrinas sanitarias, estas están ubicadas muy cerca de los pozos de agua potable, lo que hace que en ocasiones éstos se contaminen, ocasionando altos niveles de parasitismo, más del 50 % de la población se encuentra afectada, situación ésta que se agrava con la realidad actual de la zona, donde el 100% de las casas ubicadas en la zona del litoral sufrieron severos daños o desaparecieron totalmente, ocasionando un marcado deterioro del fondo habitacional.

Se observa además abundantes desechos sólidos y aunque la movilización comunitaria para el saneamiento del poblado fue amplia, se carece de vertederos para la disposición de los desechos, existe abundante vegetación acuática y terrestre por todo el litoral y el poblado.

Considerando lo planteado, sólo resta decir que las nuevas evaluaciones de los sitios afectados, por cuestiones de tiempo de ejecución de la presente tesis, quedan fuera del presente análisis, aunque generarán algunas propuestas de reordenamiento territorial en el futuro.



Foto 7: Estado en que quedaron las costas de la Ensenada de la Coloma después del paso de los ciclones Isidoro y Lili.



Foto 8: Condiciones del manglar ribereño del Río La Coloma, después de paso de los ciclones Isidoro y Lili.



licant
icante



Foto 9 y 10: Se puede apreciar las condiciones de suciedades y sargazos que arrastraron consigo a su paso los ciclones Isidoro y Lili.



Foto 10 y 11: Mortandad del ecosistema manglar de la especie *Avicennia germinans* por anoxia al paso de los ciclones Isidoro y Lili.

Figura 4.25: Diferentes espacios donde se pueden apreciar los estragos y daños causados por los ciclones Isidoro y Lili en la parte del área de estudio

4.7.2 Vegetación de manglar en el sector de la Ensenada de La Coloma

Para el estudio de la vegetación, solamente se ha tomado como referencia la vegetación de bosques de manglares, ya que es prácticamente la única que se encontró en el litoral costero que conforma la zona de estudio.

Los manglares son considerados en Cuba como un ecosistema valioso por su alta productividad y los diferentes recursos maderables que aportan particularmente como fuente de leña y carbón. Ya desde el siglo XIX inmigrantes españoles explotaron la especie *Conocarpus erectus* para madera, no obstante se confeccionó la legislación específica para la protección de los manglares desde los años 1920, pero también la necesidad de personas muy pobres, dentro de ellos la comunidad de pescadores, continuaron las explotaciones para la confección de carbón como actividad de subsistencia. Hasta 1959 el área de bosque del país se redujo del 90% al 14% del territorio nacional. A partir de 1959, se comenzaron a reconocer la importancia de los bosques y el papel destacado del ecosistema de manglares para la conciencia de la importancia de la cubierta vegetal.

No obstante, en la última década del siglo XX (1990-2000), durante la etapa de implantación del período especial en Cuba, mucha zona de bosque de mangle en el país, incluyendo la zona de estudio, se han visto afectada en cuanto a un tensor antrópico específicamente, que ha sido la tala furtiva y la extracción de madera de dicho bosque, desviándose inadecuadamente para el uso de combustible por parte de la población de la comunidad costera, esto ha traído como consecuencia que en dicha zona haya desaparecido casi totalmente una especie de mangle como el *Rhizophora mangle* (Mangle rojo) el cual forma la primera línea de mangle con relación al litoral costero, lo que ha repercutido en un aceleramiento de la erosión costera, así como la desecación de lagunas costeras.

Para esta investigación de la vegetación de manglar se tuvo en cuenta un sector del área de estudio que es el comprendido en la Ensenada de La Coloma, ya que es el tramo donde mayor cobertura de manglar hay en área y como se dijo anteriormente por la imposibilidad de utilizar el vuelo de fotografías aéreas del 1956 – 57.

Se georrefereciaron las fotografías de los diferentes vuelos del 1957 y 1997, como se puede apreciar en las figuras 4.25 y 4.26, se digitalizaron las áreas de mangle correspondiente a cada montaje y se comprobó al superponer las capas que la variación del bosque en sentido general no ha sido representativa, a pesar de la explotación a que ha sido sometido el mismo, debido a la capacidad regenerativa tan dinámica que tiene el ecosistema manglar, debe señalarse que donde mayor pérdida ha sufrido el mismo es en el mangle de litoral, como se dijo anteriormente.

Es significativo que en lo que si ha perdido el ecosistema manglar bajo estudio es en sus características físicas y estructurales, lo que hace que se mantenga en la clasificación de achaparrado, con baja altura y densidad media; las características generales son las siguientes:

- Altura promedio: 4m
- Densidad: 4,26 cm ó 0,0426m
- Densidad media: 4,500 plantas/ha (Rodríguez, G., 2002)

En la figura 4.27 se representa un recorte del mapa topográfico base que sirvió para el estudio de la vegetación de manglar en la década del 1970 – 1980.

La representación de la vegetación de manglar hasta el año 1997 se puede apreciar en la figura 4.28

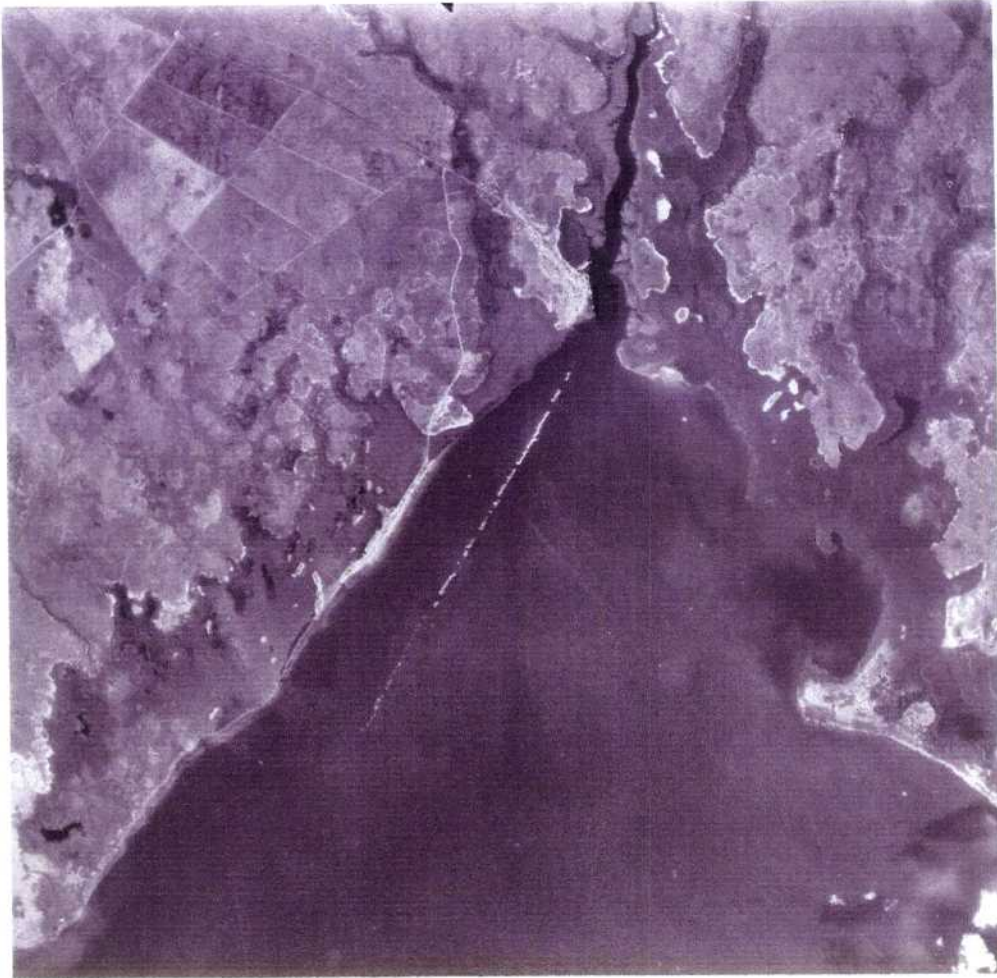


Figura 4.26: Foto aérea del vuelo del 1957 georeferenciada, a escala 1:60 000 de parte de la Ensenada de Cortés. La vegetación de manglar es la que bordea la costa de la ensenada y tiene un tono de gris mucho más oscuro.



Figura 4.27: Montaje de fotos aéreas del vuelo de 1997, a escala 1:30 000 de parte de la Ensenada de Cortés. La vegetación de manglar aparece bordeando la costa de la ensenada y tiene un tono mucho más oscuro.

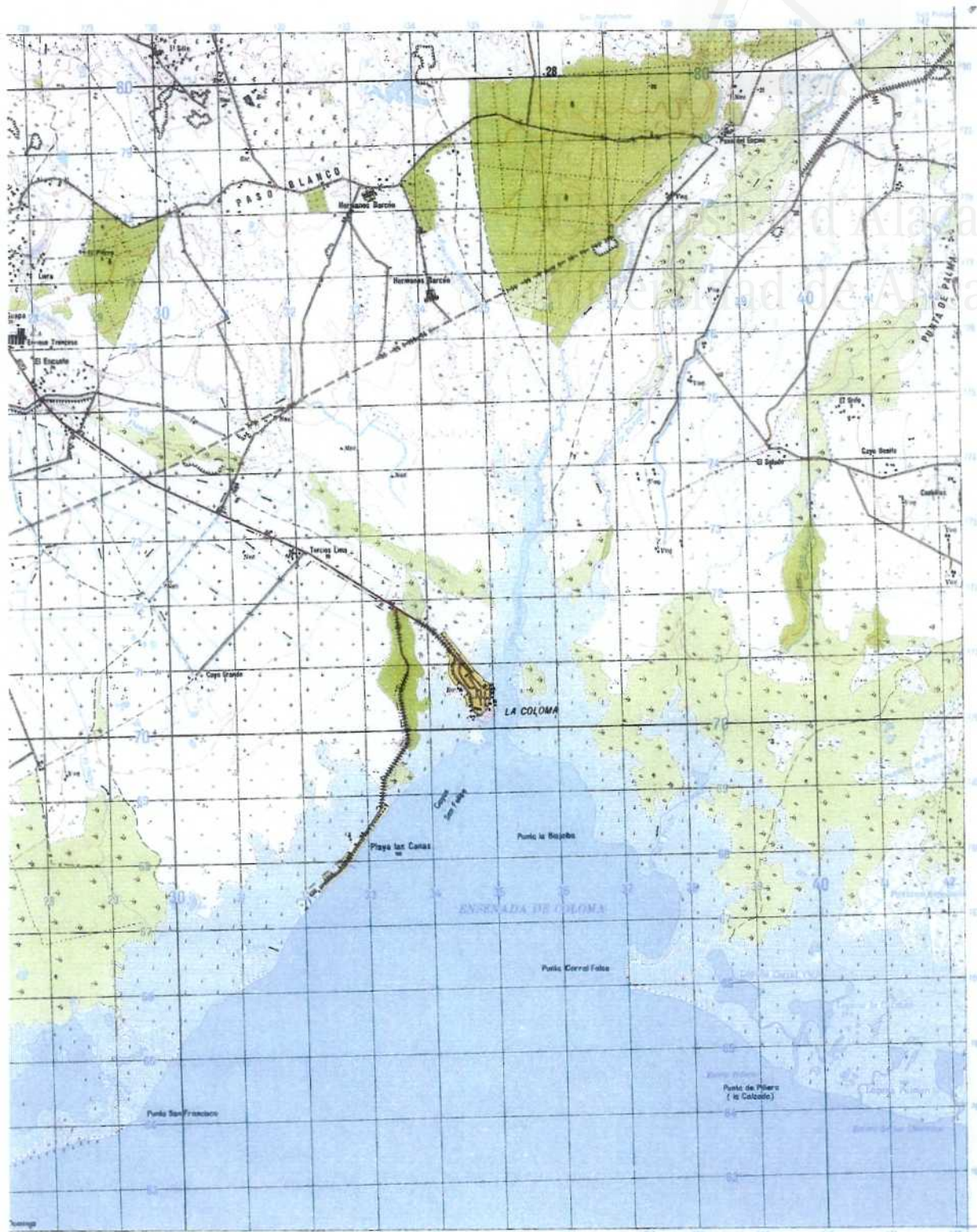


Figura 4.28: Recorte del mapa topográfico base de La Coloma, escala 1: 50 000, confeccionado a partir de las fotografías aéreas del vuelo del 1970. La vegetación de manglar es la que aparece bordeando la costa de la ensenada y tiene una coloración azul.

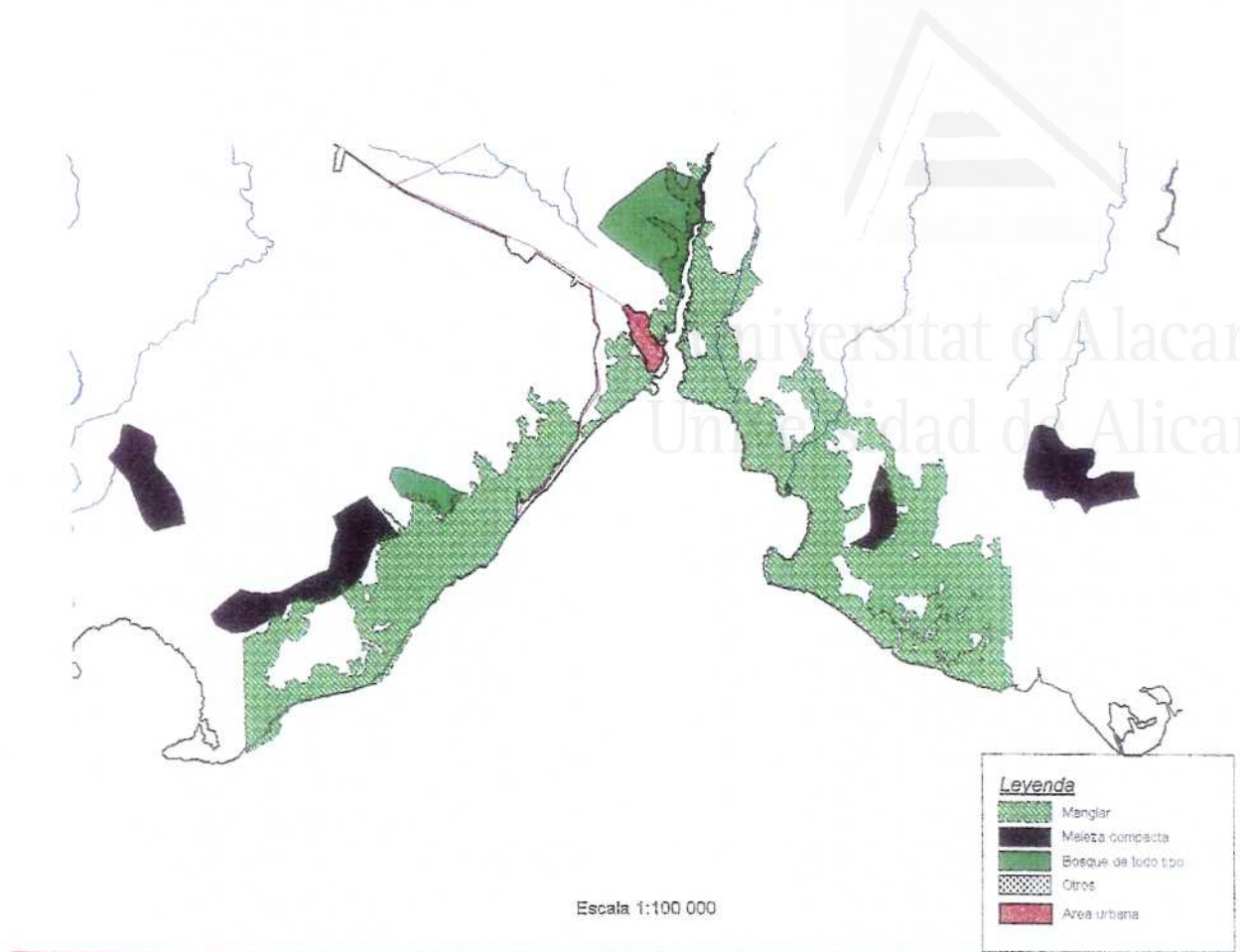


Figura 4.29: Vegetación de manglar en parte de la Ensenada de La Coloma tomado del montaje de fotografías aéreas de 1997.

4.7.3 Determinación de la erosión en el tiempo

Como es sabido, los ecosistemas de manglar proporcionan entre otros servicios: la protección de la zona costera contra marejadas, inundaciones, tormentas, y fenómenos erosivos, teniendo en cuenta este servicio específico, es que en la presente tesis se ha dado a la tarea de estudiar el proceso de erosión costera de la zona en tres momentos diferentes en 1956, 1971 y 1997 a partir de fotografías aéreas correspondientes a cada uno de esos años.

Durante el estudio se presentaron algunas dificultades con la calidad de las fotografías aéreas, ya que en algunos tramos costeros se hizo un poco difícil el trazado de la línea costera, fundamentalmente con las fotos de vuelos americanos de 1956 a 1957, solamente en algunos de estos tramos se pudo tomar como referencia los pixel (tonos de grises).

Las escalas utilizadas para este trabajo no fueron las mismas lo cual hace que mientras más pequeña sea la escala más se pierdan en detalles naturales y/o creados por el hombre, detalles necesarios para la georreferenciación de las fotografías aéreas y para una buena fotointerpretación. Como las escalas eran diferentes para los tres vuelos al realizar la digitalización se tomó como referencia la escala 1/50 000 para con esta escala obtener una escala única y así hacer la fotointerpretación de la línea costera de la zona de estudio.

En el análisis físico-geográfico se ha planteado que en La Coloma existe un canal, por lo que hay que tener en cuenta la extracción de sedimentos que ha condicionado el dragado de dicho canal, lo cual de una forma indirecta ha repercutido en la erosión de este tramo costero bajo estudio.

También se debe señalar que en las fotos se pueden apreciar representados a través de unas líneas alargadas de tono gris claro, unos depósitos de arenas y sedimentos, los que nos pueden dar una idea de que con el flujo y refluo de la marea se ha ido depositando, en un proceso de retirada, la arena a todo lo largo del canal.

Puede apreciarse que en la playa de Las Canas la línea costera de 1997 se encuentra por delante de la de 1970 y 1956 eso es debido a que se ha ido depositando arena para lograr un tramo de playa artificial.

A continuación en la figura 4.29 se pueden apreciar las líneas costeras obtenidas por años en distintos vuelos fotográficos, las que dan una muestra de la erosión cualitativa al superponer los tres trazos de las mismas obtenidos en los años 56, 71, 97.

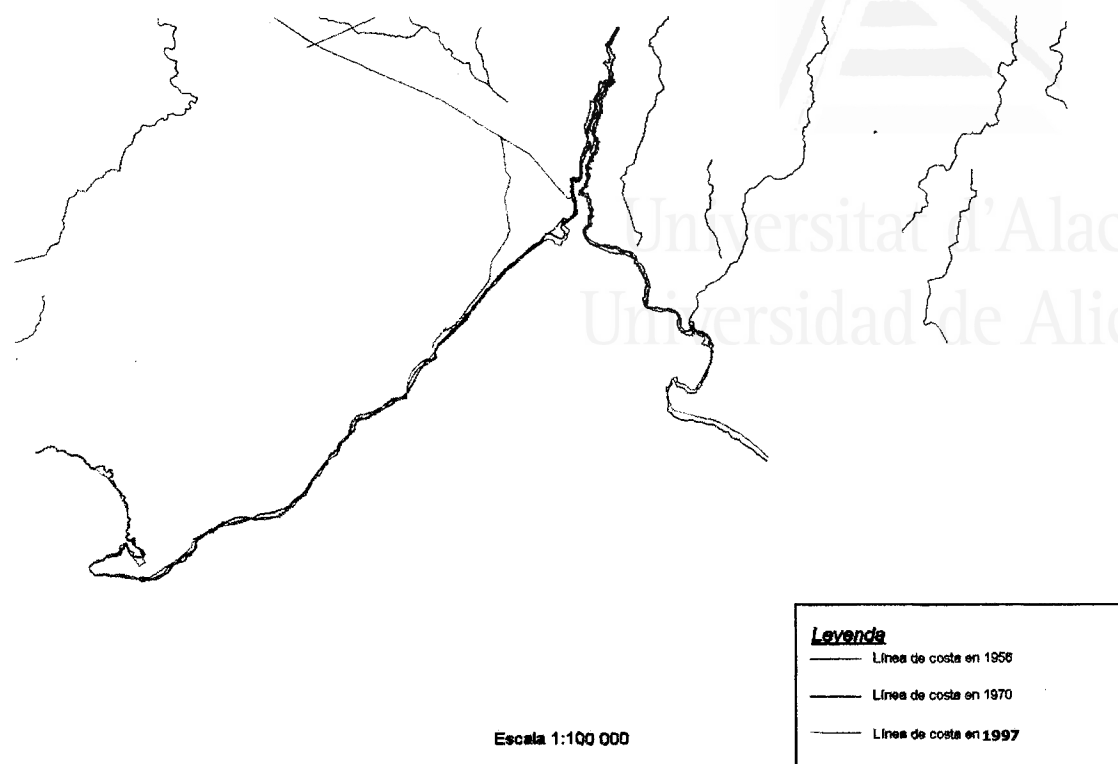


Figura 4.30: Superposición de las capas de líneas costeras obtenidas en los años 1957, 1970 y 1997.

Estas líneas han dado como resultado un nivel de erosión desde las fechas planteadas con una precisión bastante alta, siendo medidas a través de SIG, utilizando las distancias del corrimiento de las mismas hasta el año 1997.

4.7.4 Propuesta de manejo del recurso manglar a partir de las investigaciones y el diagnóstico de su estado.

La pérdida del mangle por las causas que se han venido describiendo en el Capítulo I, en la provincia de Pinar del Río y en específico en la costa sur – occidental, donde se encuentra enclavada el área de estudio, y ya que estas causas han sido señaladas puntualmente como producto de los vertimientos de residuales tanto industriales como de los criaderos porcinos, así como la repercusión que ha conllevado el represamiento de los ríos del área disminuyéndose de esta forma el aporte de nutrientes y de agua dulce al ecosistema, ha traído como consecuencias una erosión costera generalizada, agudizada en algunos tramos del litoral, como puede observarse en las fotos que aparecen agrupadas en la figura 4.30, la cual se hace progresiva pero nunca es



Foto 7: Condiciones del litoral costero en el Tramo Coloma Las Canas



Foto 8: Vista parcial de parte de la entrada de la Ensenada de Cortés.



Foto 9: Condiciones del Ryzophora mangle en un tramo de la costa Coloma las Canas.

Figura 4.31: Exposición de fotos que avalan las condiciones de la costa en el área y de la vegetación de mangle litoral.

reversible, debe señalarse que la presencia del bosque de manglar constituye la primera barrera protectora contra los eventos meteorológicos fuertes como ciclones y tormentas lo que hace que los embates del oleaje y los fuertes vientos no lleguen con tanta intensidad fundamentalmente a la infraestructura de cuenca arriba, así como constituye una faja de abrigo a especies que conviven allí o que son transitorias como algunas aves.

Conjuntamente con la desaparición del manglar se han generado problemas con algunas de las especies que tienen su hábitat en el ecosistema manglar, provocando una disminución cuantitativa apreciable de estas especies o de otras que se encuentran en estos momentos en peligro extinción y con ellas los productos que aportan a la sociedad y que constituyen renglones importantes de la economía, estos son:

- Pérdida del aporte de miel de abeja (aportaba el 60% de la miel de abeja de la provincia que tenía por consiguiente un importante peso específico en la producción de derivados de la apicultura).
- Ha dado lugar entre otras cosas a que se ha ido retirando la langosta aguas adentro lo que hace que en estos momentos la langosta haya que pescarla a 20 km de la costa, lo cual conlleva al encarecimiento de la pesca de la misma, así como un mayor consumo de combustible.
- La ruptura del equilibrio ecológico del Ecosistema Costero Sur como consecuencia de la contaminación del acuífero por intrusión salina y la construcción de diques, pone de manifiesto en el mercado el descenso de los niveles de captura de rana y ostión que se muestra en la tabla 4.6:

Tabla 4.6: Ejemplo fehaciente del desequilibrio ecológico de dos especies de la zona por contaminación

Especie	Costo Tonelada Año 1970 (MLC)	Costo Tonelada actual (MLC)
Rana	300	25
Ostión	173	5

- El desvío del escurrimiento superficial hacia La Coloma y la interrupción del flujo de agua dulce del acuífero al mar han creado un déficit de este líquido en la costa con lo que se han visto afectadas las especies de mangle melífero reflejándose esto en el marcado descenso de la producción de miel (así como los derivados dependientes de dicha producción tal como : cera, propóleo, polen, jalea real y veneno) a partir del año 1985.

La conservación de los manglares de Cuba es un asunto de importancia ecológica y económica. Se propone el estudio de tomar alternativas para elaborar y ejecutar planes para integrar la conservación de los ecosistemas y su aprovechamiento sostenible, en particular con turismo, minería, apicultura, pesquería y otros. Varias leyes y legislación específicas regulan la explotación de los manglares, la protección de bosques sobre islas coralinas, etc.

4.7.4.1 Medidas para una mejor conservación del recurso manglar

El MINAG administra los recursos del manglar y para su manejo cuenta con una comisión técnica nacional con sede en cada provincia, integrada por especialistas de todos los organismos relacionados con los manglares, con el objetivo de lograr el uso sostenible, la protección y la conservación de las mismas.

A partir de la política forestal del país que enfoca la problemática del manejo de los manglares y del estado actual del ecosistema, se propone para el área en estudio, que las unidades de Flora y Fauna del área preserven estos ecosistemas tan frágiles teniendo la responsabilidad de:

- Continuar el programa nacional de reforestación en manglares y en el área de estudio particularmente para tratar de minimizar los recientes estragos ocasionados por los ciclones Isidore y Lili.
- Seleccionar especies teniendo en cuenta calidad de sitio y exigencia específica, en este caso es de vital importancia la reforestación de la costa con *Rhizophora mangle* (mangle rojo) que es el que se encuentra en franca extinción y la falta del mismo está provocando la erosión acelerada del litoral.
- Maximizar los potenciales productivos del ecosistema, principalmente leña, carbón y madera, siempre que se tenga en cuenta la sostenibilidad del mismo y las normas silvícolas para la extracción del producto para el consumo de la población.
- Tomar las medidas necesarias ante violaciones a partir del Decreto Ley de Patrimonio Forestal y Fauna Silvestre, así como la Ley Ambiental y hacer que las mismas se cumplan por parte de las entidades competentes.
- Fortalecer la protección contra plagas, erosión y otras causas que deterioren el manglar. También habría que tomar medidas para disminuir la contaminación en la zona costera fundamentalmente por aguas negras vertidas.
- Desarrollar estructuras para establecer áreas de manejo integral, áreas protegidas y zonas para uso turísticos, en aquellas zonas donde las condiciones físicas y estructurales del manglar lo permita.
- Fortalecer los programas de educación ambiental para la preparación del personal involucrado en estas actividades y que éstas a su vez se hagan extensivas a las

comunidades, para lograr que las mismas consideren el bosque de manglar como algo propio y valioso que hay que conservar, para servirse de él a largo plazo.

- Mejorar las condiciones de vidas de las poblaciones costeras, si éstas comunidades aumentaran su *status* de vida el bosque de manglar se vería liberado de la carga de tener que aportar entre otras cosas, el combustible de que tanto adolecen estas poblaciones.
- Transferir los hallazgos científicos a los trabajos que se desarrollan en los manglares y lograr que se cumplan las políticas de manejo por las entidades competentes y responsabilizadas con esta tarea.
- Como estrategia para incrementar la producción de miel y paliar el déficit dejado por el mangle de este importante producto se propone establecer en el perímetro de los embalses de la zona en cuestión la siembra de eucaliptos, por las características melíferas de esta especie y por ser además la principal fuente generadora de polen, además que permite una fuente que sustituye al mangle en la producción de carbón vegetal y leña.

4.7.4.2 Medidas para la disminución de las fuentes de contaminación de la zona

En el Capítulo I, se ha analizado la contaminación ambiental, con sus focos contaminantes bien definidos, lo cual ha venido generando problemas en el ecosistema manglar repercutiendo en su desarrollo y su salud, por lo que estos manglares en sentido general sean de altura baja, clasificándose como achaparrados y desapareciendo casi en su totalidad el *Rhizophora mangle* que son los más susceptibles a estas contaminaciones, por lo que se hace énfasis en este trabajo de que se adopten las medidas necesarias para la protección de los mismos.

En el área de estudio los tres aspectos fundamentales de contaminación son en el siguiente orden:

- Rellenos sanitarios y vertederos.
- Contaminación por aguas negras.
- Contaminación por petróleo y derivados.

Se ha descrito, en el primer capítulo, que las comunidades costeras que se encuentran en la zona adolecen de un sistema de alcantarillado y que por tanto todos los vertimientos de una forma u otra tributan en el mar, esta actividad representa una destrucción directa del manglar y sus efectos son irreversibles, así como la disposición de aguas negras sin el debido tratamiento, que en el caso del combinado de La Coloma son tratadas las emitidas con una sustancia química, pero no las emitidas por la población, lo cual hace que el tratamiento en de estas aguas sean parciales.

La contaminación por petróleo, aunque no sea representativa, si se aguza más en la zona de La Coloma, donde el fondeadero de los barcos es mayor, éstos pueden causar mínimos escapes que tienden a depositarse en las zonas atrofiando el proceso de intercambio de gases, ya que muchos componentes del petróleo poseen propiedades tóxicas.

Debido a los factores mencionados anteriormente y que repercuten en el área de estudio, se proponen algunas medidas en el presente capítulo que de ser puestas en ejecución podrían mejorar la calidad de vida de las comunidades y a su vez las características biofísicas de los bosques de manglares en la región.

4.7.4.3 Propuesta de Plan de Medidas para la disminución de la contaminación en el área de estudio.

Después de haberse hecho un estudio exhaustivo de las condiciones del área, dada la antropización a que está sometida la misma y las afectaciones producto de la contaminación que esta genera, se propone un plan de medida a continuación que de ponerse en práctica en su totalidad o parte de ellas mejorarían en un gran porcentaje la calidad ambiental de la zona y las condiciones de vida de la población.

- Construcción de lagunas de oxidación en los asentamientos poblacionales.
- Crear un sistemas de alcantarillado en las comunidades donde estas aguas negras y de albañales tributen en una laguna de oxidación y que se le de el tratamiento adecuado a dichas aguas.
- Hacer las limpiezas de las cisternas de los barcos mar adentro para minimizar los desperdicios emitidos de las mismas.

- Las reparaciones y mantenimientos de los barcos deben hacerse tomando todas las medidas necesarias para evitar al máximo los derrames de contaminantes.
- Hacer labor profiláctica con la población de la toma de conciencia y de la importancia que reviste seguir las medidas sanitarias pertinentes en cada caso para evitar el incremento de vectores tan propensos en estas zonas costeras.
- Educar ambientalmente a la población para que aprendan a conservar el manglar fuerte y saludable.

Conclusiones del capítulo

En este capítulo que, en su totalidad, ha sido concebido a partir de los resultados obtenidos del trabajo desarrollado con técnicas avanzadas de Geomática durante la tesis, se concluye lo siguiente:

- Que estas técnicas avanzadas de la Geomática aplicada son herramientas muy valiosas para todos los trabajos de Cartografía, ya sea detallada o de forma general, constituyendo fuertes bases de datos que permite la actualización constante y fácil de las mismas, así como un mejor manejo de los recursos naturales.
- El *espaciomapa* es un resultado de incalculable valor para determinar el estado de conservación actual de una región determinada y hacer estudios de dinámica de cambios.
- Que la conservación del bosque de manglar depende del manejo sostenido que se aplique al mismo y de la minimización que se haga de los problemas contaminantes que perjudican en la región al ecosistema de manglar.
- La clasificación de diferentes tipos de mangle no se pudo hacer mediante teledetección espacial, pero sí, de la cobertura del mismo en el área de estudio, a partir de las imágenes con que se trabajaron.
- Que las técnicas aplicadas han demostrado la facilidad para obtener información ambiental para el tema de estudio, permitiendo un análisis complejo de los datos y una visión diacrónica de la evolución de los procesos ambientales que intervienen. Lo que sin ellas, hubiera sido totalmente imposible.

Conclusiones Generales

Con la realización de la presente tesis se pretende que las entidades encargadas de la confección y actualización constante de la Cartografía del país, tengan en cuenta la importancia de las técnicas punteras que se utilizaron para obtener la parte experimental y sobre todo, su extraordinaria rentabilidad en la elaboración de estudios científicos y *herramientas* de gestión ambiental.

Independientemente de que por capítulos se arribaron a conclusiones parciales, se plantearán las siguientes conclusiones generales que avalan la rapidez y la calidad con que se llevó a cabo dicho trabajo:

- Las posibilidades que ofrecen los ordenadores a la hora de gestionar y operar con amplios volúmenes de datos, convierten a estas herramientas en un importante apoyo técnico a todos los procesos de información y gestión del territorio y de sus recursos, así, aplicaciones tales como los Sistemas de Información Geográfica, la Teledetección espacial, los Sistemas de Posicionamiento, la Cartografía Digital y otras han permitido un conocimiento más detallado y sistemático del medio anticipando los posibles efectos de la actividad humana sobre el medio ambiente.
- Un sistema de información geográfica (S.I.G) conjugado con la percepción remota, los GPS, es la mejor herramienta con la cual hoy en día se puede realizar un buen seguimiento de cualquier fenómeno georreferenciable, dado que sus ventajas permiten un alto por ciento de la información con mucha precisión y con resultados muy confiables, de esta forma se facilita la toma de decisiones en áreas de las buenas planificaciones de los recursos naturales.
- El empleo combinado de las tecnologías de avanzada de la Geomática aplicada que abarca el *Geoproceso Integrado* (GPI), elevará la eficiencia y la calidad de las investigaciones que se relacionan con los estudios territoriales y la cartografía temática, de ahí la necesidad de crear un sistema de este tipo.

- Los *espaciomapas* que han sido obtenidos podrán ser utilizados por diferentes usuarios en distintas actividades vinculadas con la geociencia: inventario de recursos naturales, estudios medio-ambientales, evaluación de la dinámica de diferentes fenómenos y procesos, manejo de los recursos del territorio y en otras actividades de interés.
- Las imágenes de satélites, hasta el nivel que se llegó en la presente investigación, sirven para delimitar la cobertura de mangle y de otros tipos de vegetación por ejemplo: pastos, arboledas, etc, Aunque no se logró delimitar las fronteras de las diferentes especies de mangle, ya que en muchos lugares el mangle se encuentra mixto, mezcladas entre sí las especies y también con uva caleta, demuestra ser un método de obtención y gestión de información de muy valiosa utilidad en el apoyo al trabajo de campo en el que se pudieran establecer e identificar estos datos más concretos. Representa un elemento fundamental y asequible para la realización de un monitoreo periódico de un espacio ambiental tan complejo como las costas y sus poblamientos vegetales.

Recomendaciones

Siempre que se hace un trabajo y se obtienen resultados satisfactorios se pretende, y de hecho debe ser así, que la metodología y los resultados del mismo se hagan extensivos a todas las entidades involucradas, para que sean puestos en práctica, es por ello que se proponen las siguientes recomendaciones para aquellos campos del saber y entidades donde puedan ser aplicados los mismos:

- ❖ La aplicación de esta metodología en el análisis integral del impacto socio-ambiental de las actividades de desarrollo socio-económico, construcción de nuevas obras hidráulicas, viales, industriales y turísticos, la pesca, entre otras.
- ❖ Su utilización en la actualización catastral rápida de las parcelas agrícolas y urbanas en sectores de mayor área.
- ❖ En la planificación y control de la construcción de tuberías de drenaje, red de alcantarillados, agua potable, y otras redes de servicios comunales, así como el análisis de su estado, funcionamiento, ampliación y mantenimiento.
- ❖ Se recomienda además en el estudio de zonas de humedad.
- ❖ En el estudio de la biomasa de forma cuantitativa y cualitativa.
- ❖ En la elaboración de planes de manejo de bosque.
- ❖ Que se siga profundizando en el estudio de la clasificación de vegetación en general y de especies en áreas más extensas y de mayor complejidad desde el punto de vista forestal.

Referencias Bibliográficas

- Abel, D.J., et.al.; (1992): Environmental decision support system project: An exploration of alternative architectures for geographical information systems; Int.Journal of GIS, 6,3,193-204 pp.
- Acevedo, B. y Arismendi, J. Implantación de un SIG en el estudio de la variabilidad de la línea de costa por efectos de los agentes modeladores externos. IX Conferencia de usuarios latinoamericanos de ESRI y ERDAS.
- Alvarez Portal R. (1995a): Metodología para la planificación de los levantamientos aerofotográficos de las zonas de la plataforma marina. Manuscrito mecanografiado; 165 páginas (Instituto de Geografía Tropical, Cuba; Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Iztapalapa, México, D.F.).
- - - (1982), "Empleo de la Teledetección en el estudio de la Tierra", Revista Geodesia y Cartografía No 1, ICGC, Cuba.
- - - (1996). Metodología para la planificación de los levantamientos aerofotográficos de la plataforma marina. IGT, Cuba. pp 45 - 66
- - - (2000), Posibilidades de empleo de la Percepción Remota en las actividades científico-técnicas del Proyecto Sabana Camagüey. Instituto de Geografía Tropical, La Habana, (Sin editar).
- - - (2001), Metodología para el empleo de la Percepción Remota en el Proyecto Sabana Camagüey. Instituto de Geografía Tropical, La Habana, (Sin editar).
- - - (2002), Manual Teórico-práctico de Sistema de Posicionamiento por satélite. Proyecto Sabana Camagüey. Instituto de Geografía Tropical, La Habana, (Sin editar). pp 52 - 57
- - - y S. Interián; (2000b), "Experiencias de la implementación de un SIG en el Municipio Especial Isla de la Juventud", Cuba IX Simposio Internacional SELPER, Argentina.
- - - (1986), Teledetección de la Tierra, Libro en manuscrito, 700 pp, Instituto de Geografía Tropical, La Habana, Cuba.
- - - , J. Ferrari Rizzo, C. J. Hidalgo Cano y E. Rodríguez Roche, (2001) Cuaderno teórico – práctico: Sistemas de Posicionamiento Global, Instituto de Geografía Tropical, Empresa GeoCuba, La Habana, Cuba
- - - , S: Cerdeira y S. L. Sánchez lorenzo, (2000a), Resultado de la valoración del uso de la teledetección aerocósmica en interconexión con otras tecnologías de

- avanzada para la creación y actualización de las bases de datos temáticos del Sistema de Información geográfica del Proyecto GEF/PNUD CUB/92/G31-102, instituto de geografía Tropical, Instituto de Oceanología, La Habana. pp 78
- - - (1982), "Métodos de Percepción Remota y su empleo en las investigaciones aerocósmicas de la Tierra", Revista Geodesia y Cartografía No 1, ICGC, Cuba.
- - - (1995), "Manual Práctico de Fotogrametría". Edición Especial, UAMI, México. pp 427
- - - S.Cerdeira; S. L. Lorenzo; (2001a), Metodología para la creación y actualización de la Cartografía Temática del Sistema de Información Geográfica del Proyecto GEF/PNUD CUB/92/G31.102, Mediante Percepción Remota (PR) y Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). Inicio de la captura de datos mediante PR y GPS, Cuba.
- Ante – proyecto de decreto Ley de Gestión de la Zona Costera, (1997), Cuba.
- Aronoff, S.; (1989), "Geographic Information System, a management perspective", Ottawa WDI Pub., Canadá.
- Atlas Agropecuario de Pinar del Río; (1986)
- Atlas de Cuba; (1979), Edición
- Atlas Regionales, Década (1980 – 1990)
- Barragán Muñoz, J. M., (1987), Las áreas de influencia portuarias(AIP): Aspectos Metodológicos y conceptuales, Revista de Estudios Regionales, núm. 17, pp 17 - 39
- Barragán Muñoz, J. M.; (1994), "Ordenación, Planificación y Gestión del Espacio Litoral", Editorial OIKOS – Tau, Barcelona, España.
- - - (1997), "Medio Ambiente y desarrollo en áreas litorales", Editorial OIKOS – Tau, Barcelona España.
- Barredo Cano, J. I. (1996): Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Ed. RA-MA, Madrid, España. 264 pp.
- Beaumont, J. R.; (1991), "GIS and market analysis". In Maguire et al, 1991.
- Bellot, J.; (1998), "Conferencias del Doctorado Académico convenio Universidad de Alicante, España", UPR, Cuba.
- Berry, A. J., M. M. Barson (1963), Faunal zonation in mangrove swamps, Bull, Mat, Must, Singapore, Vol. 32, pp 90 – 98

- Bird, E. C., (1980), Stability of Mangrove Systems, Mangrove Ecosystems in Australia, pp 265 – 274
- Blaber, S. J. and D. A. Milton, (1990), Species composition, community structure and zoogeography of fishes of mangrove estuaries in the Solomon Islands, Mar Biol., Vol. 105, pp 259 - 267
- Bosque Sendra, J.:(1992), Sistemas de Información Geográfica, Rialp, Madrid, España. 451 p.
- Bucek , A. (1983): Problemática de la investigación geográfica del medio ambiente. En: *Studia Geographica* 86. Resultados preliminares de las investigaciones sobre la calidad ambiental de Cuba. Czechoslovak Academy of Science. Institute of Geography, Brno, pp. 17-27
- Burrough P.A.(1986), Principles of Geographical Information System for Land Resources Assesment, 194 pag. Oxford Science Publications, Clarendon.
- - - and R. McDonnell, (1998), Principles of geographic information systems, Oxford, Clarendon.
- Bustio Ramos, A.; (2001), "Tesis opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales: Modelo de desarrollo sostenible en comunidades costera", UPR, Cuba. (Sin editar)
- Cabral, A.. P., Mantovani, J. E; Costa, M. F. P, de Lima, R. A. F., (1990). Reducao do "stripping" de imagens TM-Landsat de ambientes aquáticos através de técnicas de filtragem espacial. VI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Manaus., Brasil.
- Cabrera Bermúdez J. 2002. Introducción al Catastro Ingeniero Geológico y Geoambiental de la Provincia de Pinar del Río. Aplicando tecnología SIG. Tesis de Opción al grado científico de Doctor en Ciencias. Departamento de geología. Facultad de Geología y Mecánica. UPR.
- Catálogo de Cartas Náuticas y Publicaciones Náuticas P4101 (2000), Servicio Hidrográfico Geodésico de la República de Cuba, La Habana
- Cebrián, J. A., (1992), Información Geográfica y Sistemas de Información Geográfica. Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- - - y D. Mark (1986): Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos. En Estudios Geográficos. Tomo XLVII, núm. 184, jul-sept, Madrid, España.

- Chuvieco, E. ; (1996), "Fundamentos de Teledetección Espacial", Madrid, Rialp, España. 568 pp
- - - y F. J. Salas; (1996), " Mapping the spatial distribution of forest FIRE danger using G.I.S., *Internacional Journal of Geographical Information Systems*, vol. 10, pp 333 – 345.
- Cintron, G. and Sheaffer – Novelli; (1984) "Característica y desarrollo estructural de los manglares del Norte y Sur América", Manuscript for a workshop on mangrove bioecology. INVEMAR, Santa Martha, Colombia. pp 37.
- - - and Y. Shaeffer – Novelli, (1983), *Introducción a la Ecología del Manglar*, Seminario sobre ordenación y desarrollo de la zona costera, Guayaquil, Ecuador. pp 46 - 78
- - - A. E. Lugo, D. J. Pool and G. Morris; (1978), "Mangrove of arid environments in Puerto Rico and adyacent Islands. *Biotrópica*". Puerto Rico, pp 110 – 121.
- Colectivo de Autores UAMI; (1995), "Curso de Percepción Remota aplicado al manejo de los Recursos Naturales", Universidad Autónoma Metropolitana de Iztapalapa, México.
- Colectivo de autores, (2000), *Historia del cartografía en Cuba*, Ediciones GeoCuba, La Habana, pp 10 - 24
- Cowen, D. (1988), GIS versus CAD versus DBMS: What are the Differences?, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, pp1551 – 1554.
- Dale, P. F.; (1991), "Land Information Systems", In Maguire et al.1991.
- Derrotero Costas de Cuba; (1989), *Región Marítima del Sur*, Tomo II, Instituto Cubano de Hidrografía, Editorial Científico Técnica, L Habana, Cuba.
- Díaz Díaz, S., E. Estevez y R. Denis .(2002), *Detección de los cambios de la geomorfología del litoral La Coloma a través del proceso de imágenes y SIG*, UPR, Cuba
- Dirección Provincial de Planificación Física de Pinar del Río, 2000, Cuba
- Domínguez García-Tejero, F.; (1974), "Topografía General y Aplicada", Editorial DOSSAT, S.A. Madrid, España. pp 61 – 63
- Duecker, K., (1979), *Land resource information systems: a review of fifteen years experience*, *Geo – Processing*, 1, pp 105 – 128.
- Enciclopedia Encarta, (2001).
- Estudio Científico e impactos humanos en el Ecosistema Manglar, (1998), UNESCO.

Etkins, R. And E.S. Epstein; (1982), "The rise of global mean sea level as an indication of climatic change Science, 215 (4530) pp 287 – 289.

FAO, (1994), El desafío de la Ordenación Forestal Sostenible, Roma, Italia, pp.2.

FAO, (1999), La contribución de la Ciencia al manejo costero integrado, Roma, (Internet)

Ferrer, R. y otros, (1998) Sistema de posicionamiento global (GPS), Cursos de verano de la Universidad de Cantabria. Parte 4, 6-15.

Flores, F.; 1992: Sistema de información computarizada del ambiente: Estructura, funcionamiento y logros. (Venezuela); Revista Geográfica, 116:5 – 16.

Franco Rosell, E.; (1990) "Levantamiento Ecológico Integral del Ecosistema Manglar. Propuesta Técnica", UPR, Cuba, (Sin editar).

- - - (1997), "Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales: Ensayo Metodológico para el diagnóstico biofísico del ecosistema de manglar por Teledetección, UPR, Cuba.

Gutiérrez Puebla, J.; (1992), "los SIG: aplicaciones en el transporte". En Ferrer, M.(Ed.), cambios Urbanos y Políticos Territoriales. EUNSA, Pamplona, España, pp 343 – 355.

- - - y M. Gould, (1994), SIG: Sistemas de Información Geográfica, Editorial Síntesis S. A. pp Madrid 251,

Hernández Zanuy; (2001), "Consideraciones sobre ecosistema de manglar sumergido en Cuba", Informe CITMA, Cuba.

HURN, J. (1989) GPS. A Guide to the next utility. Trimble Navigation. USA.

Informe de Tablas Mareográficas, (2001), Empresas GEOCUBA, Cuba.

Jiménez, J. A.; (1994), "Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la Costa Pacífica de Costa Rica", Costa Rica.

Klemm, C., (1981), Conservation and developmen: economic and social cost, IUCN – CEP, Word in Progress, Núm. 14, Morges.

Left, E. (1998), Ecología y Capital: Racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable, Siglo XXI editores S.A. de C.V., 3ra Edición, México, pp 260 - 275

Leick, A., (1990), Levantamiento con satélites GPS. John Wiley & Sons. New York, (eng.).

- León Herrera ,Julia de, et al., (1996):. Los Sistemas de Información Geográfica y sus posibilidades para la representación cartográfica. Trabajo de curso de la asignatura SIG de la Maestría en ordenamiento geocológico de los paisajes. Informe inédito. Instituto de Geografía Tropical, La Habana, 14 pp
- Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 1994, Remote sensing and image interpretation (3d ed.): New York, Wiley, 750 p.
- Lugo, A. E., C. P. Zucca, (1977), The impact of low temperature stress on mangrove structure and growth, Trop. Ecol., Vol. 18 149 - 161
- - - G. Cintron and C. Goenaga, (1981), Mangrove ecosystems under stress. In G. W. Barret and R. Rosenberg Eds.), Stress effects on natural ecosystems, pp 129 – 153, John Wiley & Sons, Ltd. 305 pp
- Maguire, D. J. et al., (1991), "Geographical Information Systems", Longman.
- Markham, B.L., and Barker, J.L., eds., 1985, Landsat image data quality--special issue: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 51, no. 9, p. 1,245-1,493.
- Martínez, M del C.; O. Novua; A. Priego y M. Arcia (1997): La gestión ambiental mediante un Sistema de Información Geográfica. (inédito), Instituto de Geografía Tropical. La Habana.
- Martínez, R.; L. Encarnación; G. Cintron; L. Cruz and M. Aponte; (1981) "Características estructurales de los manglares de Puerto rico. Proceeding VII, Simposio latinoamericano sobre Oceanología Biológica", Acapulco, México 15 – 19 Noviembre 1981. pp 23 - 27
- Mas, S.; (1993), SIGCA y su relación con los Sistemas de Información Geográfica en España y las grandes actuaciones cartográficas, Catastro.
- Mather, M. P. (1976), Computers in Geography, Oxford. EUA; D.R.F.
- Menéndez, L.; A. Priego; R. Vandama; Guanál, (1994), Una propuesta del Plan de Manejo Integrado de los manglares, Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science, New York, pp 16.
- Milián Cabrera, I.; (2001), "Estudio de la dinámica de la erosión costera y vegetación de manglar del Sector Coloma – Las Canas, provincia de Pinar del Río", SINFOR II, Evento Internacional, UPR, Cuba.
- - - (2002), "Balance entre población y recursos. Investigación interdisciplinaria y Manejo de Áreas Costeras en el gran Caribe", IOI – CFU – LAVAL – IDRC", Editorial Fundación UNA, Costa Rica. pp 133 - 164

- Mira, J.M. y Ramón, A.(1997), Ponencia : “Los sistemas de información geográfica en los centros públicos y su explotación en *intranet* corporativa : *SIGUA*”, en las Segundas Jornadas de Ayuntamientos con Tecnología S.I.G.. organizado por el *Ajuntament de Valencia* y la *Generalitat Valenciana*. Valencia. Publicación electrónica por parte del Excmo. Ayuntamiento de Valencia. Mayo de 1997
- Moldes, F. J.; (1995), “Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica”, Editorial Ra – ma, Madrid, España.
- NCGIA, (1990), NCGIA Core Currículo, Santa Bárbara, Universidad de California.
- Novo, M. y R. Lara (1997): El análisis de los problemas ambientales: Modelos y Metodología. En: El análisis interdisciplinario de la problemática ambiental. Madrid, España, Capt. Pp 19-57
- Novúa O. y otros autores, (1999), El análisis Medio Ambiental Mediante un SIG, del Dpto. Modelación Cartográfica y SIG, Instituto de Geografía Tropical, La Habana.
- Nuevo Atlas Nacional de Cuba; (1986), Instituto de Geografía Tropical.
- Núñez, A. y otros (1992) GPS, la nueva era de la Topografía. Ediciones Ciencias Sociales. España.
- Ortega Alba, F., (1992), El litoral. Aproximación geográfica, La ordenación del litoral. Temas de Administración Local Centro de Estudios Municipales y de Cooperación Interprovincial (CEMCI), Madrid, pp 9 – 29
- Otero, Pastor I.; (1993), “Planificación territorial. Estudio de caso. F.C.U.S. Sec. Publicaciones de E.T.S.I., España.
- (1995), “Diccionario de Cartografía”, Ediciones Científicas. España.
- (1999), Paisaje, Teledetección y SIG , Madrid, España.
- Padilla, M.A. y Ramón, A. (1997), “Planeamiento ambiental a escala de detalle : Microrreservas de flora en la Comunidad Valenciana”. *Investigaciones Geográficas* nº17. Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante. 215-225 pp.
- Peralta A., R. Peralta, C. Díaz, E. Vicente y J. Prado, (1991). Estudios agrícolas y forestales con imágenes multiespectrales de alta resolución. II Reunión Nacional SELPER-México, Septiembre 12 y 13, Aguascalientes. Ags
- Piña, R. B.; (1994), “Evolución en la captura y el tratamiento de la información geográfica con fines Cartográficos”, Instituto Geográfico Nacional de España.
- Pool D. B. J.; (1976), “Litter production in mangrove forest of southern Florida and Puerto Rico”,

Pueyo, A.; (1991), "El SIG: un instrumento para la planificación urbana", Geographicalia 28, España, pp175 – 192.

Ramón, A. y Sánchez, A. (1993), "Aplicación didáctica de PC ARC/INFO para el estudio ambiental del Campo Dunar de Maspalomas (Las Palmas de Gran Canaria)". Texto publicado en el Libro de Actas del II Congreso Nacional de la Asociación Española de Sistema de Información Geográfica. Madrid.1993

Ramón, A., Mira, J.M. y Sánchez, A. (1995), "S.I.G.M.A.: Un sistema de información geográfica para la gestión del medio físico-ecológico del sur de la Comunidad Valenciana" Publivado en el libro de Actas del XIV Congreso Nacional de Geografía. Universidad de Salamanca 5-8 de diciembre de 1995.

Ramón, A. y Pérez, J.E. (1998), "Uso de un SIG para la evaluación de los problemas ambientales derivados del uso urbano-turístico en el litoral sur de la provincia de Alicante" en el XVII Congreso de Geógrafos Españoles en la Ponencia: *Representación del espacio geográfico para su conocimiento, interpretación y gestión*. Universidad de Oviedo. Noviembre 2001. Libro de Actas pp. 95-99

Rhind, D. (1990), Global Databases and GIS. En Foster, M. J.

Rodríguez Crespo, G.; (1999), "Medidas para la reformación de un bosque de manglar en estado de deterioro", artículo, SINFOR I, Evento Internacional, UPR; Cuba.

- - - (2002), "Balance entre población y recursos. Investigación interdisciplinaria y Manejo de Áreas Costeras en el gran Caribe", IOI – CFU – LAVAL – IDRC", Editorial Fundación UNA, Costa Rica.

- - - (2002), Diagnóstico Biofísico y Socioambiental para la reformación de un ecosistema de manglar en estado de deterioro continuado. Estudio de caso: Sector Coloma – Las Canas", SINFOR II Evento Internacional, UPR, Cuba.

- - - (2002), Bases para el manejo sostenible de un bosque de manglares en estado de deterioro, sector Coloma – Las Cana, Pinar del Río, Tesis de opción al grado científico de Doctor en Ciencias, Universidad de Pinar del Río.

Rodríguez Miranda, W. , (2000), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), Departamento Geociencia y Medio Ambiente, IPSJAE, La Habana, Cuba. Soporte Digital.

- - - (2000), Introducción a la teledetección Espacial, Departamento Geociencia y Medio Ambiente, IPSJAE, La Habana, Cuba. Soporte Digital.

- - - (2000), Introducción a los Sistemas de Información Geográfica; Departamento Geociencia y Medio Ambiente, IPSJAE, La Habana, Cuba. Soporte Digital.

- Sach, I., (1974), Environment and planning: a few directives for research and planning, Social Science Information, Vol. 13, Núm. 6
- Salitchev, K.; (1966), Cartografía, Editorial Nedra, Moscú, URSS.
- Samek, V.; (1974) "Elementos de Silvicultura de los Bosques de Latifolias", Editorial Ciencia y Técnica, Instituto Cubano del Libro, La Habana, Cuba.
- Shimabukuro, Y. E., B. N. Holben and C. J.; (1994), Fraction images derived from NOAA – AVHRR data for studying the deforestation in the Brazilian Amazon, International Journal of Remote Sensing, vol. 15.
- Short, N.M., Sr., 1998, The remote sensing tutorial--an online handbook: [Greenbelt, Maryland], Goddard Space Flight Center, electronic version, <http://rst.gsfc.nasa.gov/TofC/Coverpage.html>
- Snedaker, S. C., M. S. Brown, E. J. Lahmann and R. J. Araujo, (1991), Recovery of a mixed – species mangrove forest in south Florida following canopy removal, J. Coast. Res., pp 919 - 925
- - - (1985), "Costas: Pautas para el manejo de Recursos Costeros", Columbia, South Carolina, EU.
- Soporte Técnico MAPINFO Profesional, (1998),
- Soporte Técnico TELEMAT, (1994), versión 2.1 ICH, Cuba
- Star, J. And J. Stes; (1990), Geographical Information Systems. An introduction, Englewood Cliffs N. J. Prentice Hall, New York.
- Taylor, D. R. F.; (1991), "La Microcomputadora y la Cartografía moderna". Edición Oxford, Pergamon Press.
- Teng, W. L., (1990) AVHRR monitoring of U. S. crops during the 1988 drought, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol.56 pp 1143 - 1146
- Torres, F. (1998), Conferencias del Doctorado Académico convenio Universidad de Alicante, España, UPR, Cuba.
- Trujillo, L. y Portal, R. A. et al. (1995) Notas del Diplomado internacional del Proyecto SIG (Geoproceso integrado) aplicado al manejo y ordenamiento de los recursos naturales. Tomo 2. Universidad Autónoma de Izatapalapa.
- Ojeda, J. (2000), "Métodos para el cálculo de la erosión costera, métodos, revisión, tendencias y propuestas". Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, nº30. Madrid. España.

Wells, D et al; (1987) Guía para el posicionamiento GPS. Asociados GPS de Canadá. New Brunswick.

Yáñez-Trujillo, L. y R. Alvarez, (Editores y Compiladores). (1997) Diplomado Internacional de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, Aplicado al Manejo y Ordenamiento de los Recursos Naturales. Artículos y Bibliografía del Diplomado (Curso Especial de Especialización y Posgrado TOMO III, 261 pp.

- - - y V. Sorani, (Editores y Compiladores). (1997) Diplomado Internacional de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, Aplicado al Manejo y Ordenamiento de los Recursos Naturales. Artículos y Bibliografía del Diplomado (Curso Especial de Especialización y Posgrado= TOMO IV, 253 pp.

- - - R. Alvarez, S. Cerdeira y V. Sorani, (Editores y Compiladores). (1997) Diplomado Internacional de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, Aplicado al Manejo y Ordenamiento de los Recursos Naturales. Artículos y Bibliografía del Diplomado (Curso Especial de Especialización y Posgrado= TOMO II, 320 pp.

Zegheru, N. y M. Albotá, (1979), Introducción a la Teledetección, Rumanía.