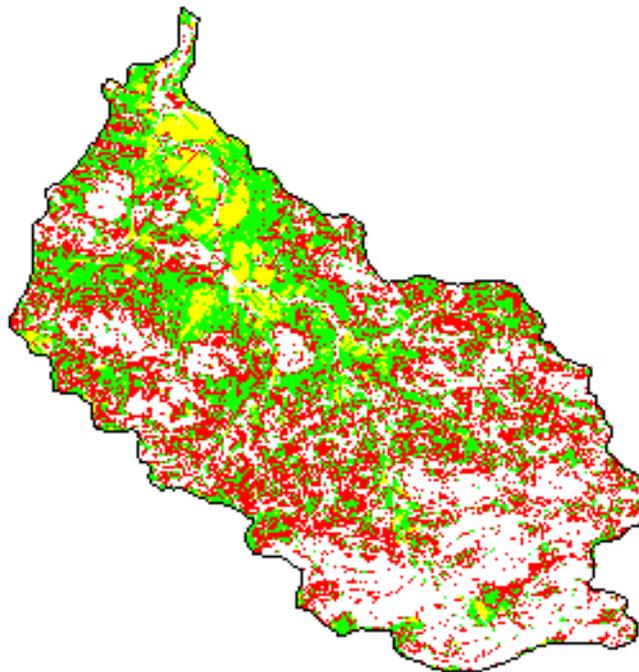


ESTUDIO GEOLOGO AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RIO LUYANO



Autores: *Jorge Luis Díaz Comesañas.*
Nyls Ponce Seoane.
Rey Carral Chao.
Ramón Rivada Suarez.
Santa Gil Gonzalez.
Adelaida Castellanos Silvén.
Ramón Pérez Aragón.
Valentina Strazhevich.
Jesús Triff Oquendo.
Ruben Stout Smith.
Arién González Crespo

Ciudad de La Habana 1999
Año del 40 Aniversario del Triunfo de la Revolución.

INDICE

	Páginas.
A. Generalidades.	1
A.1. Introducción.	1
A.2. Legislación Ambiental	4
A.3. Ubicación y características generales.	6
B. Caracterización geólogo – ambiental de la cuenca.	8
B.1. Características geológicas.	8
B.1.1. Litoestratigrafía y algunas condiciones sobre características Ingeniero – Geológicas.	8
B.1.2. Depósitos carbonatados – terrígenos del cretácico superior – eoceno.	10
B.1.3. Depósitos de cobertura platafórmica post – oligocénica.	14
B.1.4. Sedimentos Aluviales indiferenciados.	14
B.1.5. Tectónica.	15
B.2. Características geomorfológicas.	16
B.2.1. Perfiles longitudinales, transversales y secciones esquemáticas.	19
B.2.2. Pendientes.	22
B.2.3. Procesos erosivo – acumulativos.	22
B.2.4. Análisis de susceptibilidad.	28
B.3. Trabajos Geofísicos.	31
B.3.1. Técnicas geofísicas empleadas.	31
B.3.2. Metodologías de los trabajos de campo.	31
B.3.3. Elaboración de los materiales.	33

B.3.4. Resultados obtenidos.	33
B.3.4.1. Campo Eléctrico Natural.	33
B.3.4.2. Sondeo Eléctrico Vertical.	35
B.3.4.3. Magnetometria.	35
B.4. Clima.	38
B.4.1. Radiación Solar.	38
B.4.2. Temperatura.	38
B.4.3. Precipitaciones.	39
B.4.4. Vientos.	39
B.4.5. Evaporación.	40
B.4.6. Humedad relativa.	40
B.4.7. Factores modificadores del clima.	40
B.5. Aguas superficiales y subterráneas.	42
B.5.1. Aguas superficiales.	42
B.5.1.1. Red de drenaje.	42
B.5.1.2. Muestreo.	44
B.5.1.3. Calidad de las aguas superficiales.	45
B.5.2. Materiales y métodos.	45
B.5.3. Resultados de los análisis de laboratorios.	48
B.5.4. Aguas subterráneas.	50
B.6. Contaminación.	51
B.6.1. Levantamiento de las principales fuentes contaminantes.	51
B.6.2. Muestreo y análisis de sedimentos.	55
B.7. Vegetación.	57

B.7.1. Formaciones arbóreas.	57
B.7.2. Formaciones arbustosas.	57
B.7.3. Comunidades herbáceas.	59
B.7.4. Vegetación cultural.	59
B.8. Uso y Ocupación.	60
B.9. Estado Actual del Medio Ambiente.	64
B.9.1. Función y Estabilidad Ecológica.	64
B.9.2. Coeficiente de la Estabilidad Ecológica.	64
B.10. Entrada y tratamiento de datos en forma digital.	67
B.11. Plan de Medida (Recomendaciones).	70
C. Valoración Económica de los Trabajos Realizados.	72
D. Bibliografía.	73

A. GENERALIDADES.

A.1. Introducción.

Los estudios ambientales tienen como esencia fundamental la protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos, lo que presupone no solo la protección del entorno como legado a futuras generaciones sino también el posible uso de dichos recursos.

Dado los logros obtenidos en los estudios territoriales, los cuales se han desarrollado manteniendo su actualidad y cuyo objetivo principal es el de realizar el análisis y diagnóstico de una zona o región con el fin de controlar y planificar las actividades humanas en ella, para un posible reordenamiento territorial y un mejor aprovechamiento de sus recursos con el mínimo de deterioro ambiental. Lo que, unido a la legislación y el perfeccionamiento de las instituciones en materia de medio ambiente, hace necesario cada vez más, la realización de estudios que ayuden a resolver problemas concretos que se han ido acumulando durante años en nuestras comunidades en el mal uso y explotación indiscriminado de los recursos.

Por lo tanto, el estudio realizado que presentamos, debe considerarse como un elemento esencial para los trabajos de manejo del territorio de la cuenca, para mitigar y eliminar la contaminación que recibe y trasmite a la bahía y para el mejoramiento de la calidad del entorno y de la propia vida de sus habitantes.

Toda la cuenca puede considerarse como zona de aporte de sedimentos a la bahía, por lo que el control de la erosión en la misma sólo podrá ser recomendado y llevado a cabo a partir del conocimiento de sus características geológico - geomorfológicas e hidrometeorológicas que condicionan los procesos de erosión – sedimentación que en ella ocurre.

Estos factores naturales se complican con el hecho que sobre el área de la cuenca se ha establecido y desarrollado un asentamiento poblacional de complejo funcionamiento debido a que el uso urbano – industrial hace que las diferentes instalaciones ubicadas en sus márgenes viertan sus desechos al río dándole a este el uso de cuerpo receptor de residuales, pues a él es vertido diariamente los efluentes líquidos y los desechos sólidos (Foto No.1), sin tratamiento previo, de la actividad urbano – industrial. Lo cual se ha visto agravado por el desarrollo de la actividad agrícola en muchas áreas de la cuenca incluido su curso superior, lo que genera una carga adicional de sedimentos, que trasciende el marco de su extensión para convertirse en tributaria a otro ecosistema no menos importante que representa la bahía de La Habana, la cual se ha visto afectada también a consecuencia de recibir además la carga sólida y líquida de otros sistemas fluviales como el río Martín Pérez y arroyo Tadeo, que provocan un acelerado deterioro ambiental de sus aguas y de la biomasa en ella existente.

Estos factores naturales se complican con el hecho que sobre el área de la cuenca se ha establecido y desarrollado un asentamiento poblacional de complejo funcionamiento debido a que el uso urbano – industrial hace que las diferentes instalaciones ubicadas en sus márgenes viertan sus desechos al río dándole a este el uso de cuerpo receptor de residuales, pues a él son vertidos diariamente los efluentes líquidos y los desechos sólidos, sin tratamiento previo, de la actividad urbano – industrial.

El uso histórico que se le ha dado al río Luyanó no solo es uno de los principales responsables del grado de deterioro ambiental que presenta en la actualidad la bahía de La Habana, sino que también es el responsable del deterioro de la calidad del medio ambiente y de la vida en el área de la cuenca.

Por lo tanto, el estudio realizado que presentamos debe considerarse como un elemento esencial para los trabajos de manejo de la cuenca, para mitigar y eliminar la contaminación que recibe y trasmite a la bahía y para el mejoramiento de la calidad del entorno y la propia vida de sus habitantes.

2. Legislación Ambiental.

En 1976 Es aprobado por referendo popular la constitución de la República de Cuba en cuyo artículo 27 expresa que “Para proteger el bienestar de los ciudadanos, el estado y la sociedad protegen la naturaleza. Incumbe a los organismos competentes y además a cada ciudadano velar porque sean mantenidas limpias las aguas y la atmósfera y que se proteja el suelo, la flora y la fauna.”

Posteriormente en 1981 se aprueba la Ley 33 para la “Protección del medio ambiente y del uso racional de los recursos naturales”.

Con fecha 28 de noviembre de 1994 se aprobó el acuerdo 2823 por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministro la legislación provisional sobre la organización de la Administración Central del Estado, otorgándole al Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente las funciones y atribuciones relativas a la protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales.

La Ley 81 del Medio Ambiente, de fecha 11 de julio de 1997, Es el cuerpo legal actualmente vigente y tiene como objeto establecer los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la Gestión Ambiental del Estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general a fin de salvaguardar el medio ambiente.

El Artículo 11 de ese cuerpo legal establece que el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente Es el órgano de la Administración Central del Estado encargado de proponer la Política Ambiental del Estado y dirigir su ejecución, quedando regulado en el Artículo 12, las funciones y atribuciones del referido ministerio en esa materia en coordinación con otros órganos y organismos.

Al funcionar las cuencas en relación con sus ríos como fuente básica de aporte de aguas y sedimentos, lo que hace definirlas como unidades naturales del medio ambiente, las mismas, así como las aguas, son tratadas en varios artículos de la Ley 81 lo que indica y señala su importancia.

Así, en el capítulo 4 de la Ley Medioambiental, referente a Aguas y Ecosistemas Acuáticos establece en su Artículo 92, inciso a), la obligatoriedad de todas las personas naturales y jurídicas de proteger y conservar las aguas y los ecosistemas acuáticos y mantener una equilibrada interrelación con los demás recursos naturales. Además, en el citado artículo, en su inciso b), dispone que la gestión de todos los recursos naturales contenidos en los ecosistemas acuáticos respetará su equilibrio y el de los ecosistemas con los que está relacionado; y en su inciso c) plantea que para asegurar un adecuado desarrollo del ciclo hidrológico y de los elementos que intervienen en él, se prestará especial atención a los suelos, áreas boscosas, **formaciones geológicas** y capacidad de recarga de los acuíferos.

En el Artículo 93 de la propia Ley establece los principios que regirán para la protección de las aguas de la contaminación, disponiendo que deberán ser objeto de tratamiento adecuado todas las descargas

de sustancias susceptibles de provocar contaminación que se efectúen en los cursos de aguas, en las bahías, etc., promoviendo la reutilización de las aguas residuales de conformidad con las normas establecidas para ese fin y el establecimiento de tecnologías para el tratamiento eficiente de las aguas que, reduzcan al mínimo la contaminación y favorezcan Su reutilización.

En la Sección segunda de este Capítulo referente a Aguas Terrestres, en el Artículo 95 se plantea también que las aguas residuales de la actividad económica y social, antes de ser vertidas al medio ambiente tienen que recibir el tratamiento correspondiente para que no contaminen los embalses y cuerpos de aguas terrestres y marítimos.

Por otra parte en el capítulo 5 “Ecosistemas Terrestres” en la Sección segunda referente a las Cuencas Hidrográficas propiamente dichas, en su artículo 110 establece que la gestión de las cuencas se basará en un manejo integral que asegure que las actividades económicas y sociales dentro de la cuenca se efectúen a partir de una adecuada protección y uso racional del medio ambiente; y en el Artículo 111 plantea que corresponde al Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, en coordinación con los organismos correspondientes, realizar las acciones que permitan integrar y armonizar la actividad de todas las personas naturales y jurídicas que intervienen en una cuenca dada.

Otras disposiciones legales vigentes relacionadas directa o indirectamente con la temática que nos ocupa son:

- La Resolución n°73 del MITRANS (3/6/1992), sobre el control de descarga y vertimiento de residuales contaminantes en la costa y puertos.
- Decreto Ley n° 138 (1/7/1993) de las Aguas Terrestres.
- Decreto n° 199 (10/4/1995) contravenciones de las regulaciones para la protección y el uso racional de los recursos hidráulicos.
- Decreto n° 201 (13/6/1995) las contravenciones contra el ornato público y la higiene comunal en Ciudad de La Habana.
- Convenio Internacional (1/12/1995) sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otros materiales.

Al considerarse la cuenca del río Luyanó como zona de drenaje y aportes de sedimentos hacia la bahía de La Habana y al estar esta última sometida a un fuerte impacto ambiental producido por un conjunto de actividades que con sus aportes provocan un grado muy elevado de contaminación de sus aguas y sedimentos con un marcado carácter crónico, dirigir los estudios realizados por este proyecto a la realización de las investigaciones que permitan conocer la incidencia sobre el ecosistema de los elementos que se vierten, se podrán adoptar las medidas tendentes su disminución o eliminación total. Es primordial para todo esto tener en cuenta la legislación vigente que permita un correcto análisis que conlleve a las correspondientes propuestas que faciliten la toma de decisiones adecuadas para solucionar los problemas acumulados en esta cuenca a lo largo del tiempo.

Esto contribuirá a Su vez lo que establecerá el proyecto de decreto sobre el reglamento para los usos y protección de la bahía de La Habana y sus contravenciones, facilitando así a la aplicación del Plan de Acción Para el Saneamiento y Rescate Ambiental de la bahía de La Habana en el cual participa el Ministerio de la Industria Básica junto con otros organismos de la Administración Central del Estado.

A.3. Ubicación y Características generales.

El río Luyanó está situado al Sureste de la bahía de La Habana (Mapa de Ubicación), ocupando su cuenca un área de 28,42 Km.² . La misma se extiende por el Sur hasta las Ocho Vías y por el Norte hasta la bahía de La Habana, por el Noreste con la cuenca del Martín Pérez y por el Oeste con la cuenca del río Almendares, abarcando los municipios de Arroyo Naranjo, San Miguel del Padrón, 10 de Octubre y Regla.

La extensión lineal de este río es de aproximadamente 13 Km. con un caudal variable en dependencia de las condiciones estacionales.

El parteaguas general no sobrepasa en mucho los 100 metros de altitud, presentando sus cimas formas ovaladas y alargadas.

La forma de la cuenca asemeja una figura geométrica con su lado occidental casi recto y sus afluentes y río principal formando ángulos con cambios considerables en sus direcciones.

Esta cuenca está formada por una densa red exógena del tipo dendrítica de corrientes permanentes, temporales y efímeras que conforman este sistema fluvial.

La cuenca del río Luyanó es sin dudas una de las más antropizadas de nuestro país, por lo que la evolución de su dinámica natural se encuentra subordinada a esta condición.

Históricamente las aguas de este río han sido receptoras de todas las aguas industriales y domésticas que se generan en su cuenca. Todo ello ha provocado una situación bastante deplorable de este sistema fluvial que lógicamente van a repercutir en el deterioro de los mismos, incluida la bahía de La Habana como receptora de esta corriente.

Caracterización Geólogo – Ambiental de la Cuenca.

B.1. Características Geológicas.

La caracterización de los diferentes complejos litológicos se realizó sobre la base de trabajos anteriormente realizados en el área, a escalas 1:50 000, 1:100 000 y 1:250 000 (Bronniman y Rigassi, 1963; Albear *et al.*, 1977, 1985) e itinerarios geológicos efectuados durante la ejecución del proyecto. La nomenclatura estratigráfica utilizada es la aprobada en el Léxico Estratigráfico de Cuba (Franco *et al.* ,1991).

Para la confección del mapa geológico se elaboró un esquema preliminar basado en una cartografía geológica anterior a escala 1:25 000 realizada para los estudios geologo-ambientales de los municipios San Miguel del Padrón (Cañete *et al.*,1994) y Arroyo Naranjo (Correa, *et al.* , 1998) y en la fotointerpretación estereoscópica de imágenes aéreas pancromáticas a escalas 1:26 000 y 1:13 000, el

cual fue complementado y enriquecido con los resultados de los análisis petrográficos y paleontológicos de las muestras tomadas durante los recorridos de campo

La información fue compilada sobre la base topográfica a escala 1:10 000 y posteriormente digitalizada y corregida mediante la utilización de software de procesamiento gráfico e impreso de forma automatizada a igual escala de donde se obtuvo el modelo geológico tridimensional.

B.1.1 Litoestratigrafía y algunas consideraciones sobre características ingeniero-geológicas

El corte geológico del territorio está constituido por depósitos de cobertura del arco, abarcando edades desde el Campaniano al Eoceno Inferior, formando parte de un bloque elevado erosionado. El corte se completa con depósitos platafórmicos miocénicos los cuales se disponen transgresivamente sobre los anteriores y culmina con depósitos cuaternarios aluviales (Mapa Geológico). Todos estos depósitos difieren entre sí por sus características litológicas, estructurales e ingeniero-geológicas.

Para proceder a la caracterización geotécnica en cuestión nos basamos en su totalidad en la evaluación ingeniero-geológica del territorio de las provincias habaneras realizada por Iturralde-Vinent durante la ejecución de los trabajos de levantamiento geológico a escala 1:25 000 en las citadas provincias. En el mencionado trabajo se describen las formaciones ingeniero-geológicas y sus propiedades ingeniero constructivas tomando como punto de partida la metodología propuesta por Skwaletski e Iturralde-Vinent (1970 a, b), donde las rocas son divididas en formaciones ingeniero-geológicas sustentándose en criterios litológicos. Los citados autores definen como formación ingeniero-geológica al conjunto de rocas que independientemente de su edad o posición espacial, se formaron en condiciones tales que su composición es muy similar. Cada formación, a su vez puede ser subdivididas en grupos geotécnicos tomando como base las propiedades físico-mecánicas de los conjuntos rocosos, teniéndose en cuenta también la asociación natural de las rocas y su estado de fracturación, carsificación entre otros.

Teniendo en cuenta todo lo anterior los citados autores distinguieron para las provincias habaneras 6 formaciones ingeniero-geológicas y 4 grupos rocosos estando presentes en el área estudiada los siguientes:

- Formación ingeniero - geológica terrígena. A ella pertenecen las unidades litoestratigráficas Vía Blanca y Capdevila. Cada una forma parte de un grupo geotécnico determinado.
 - Grupos semirocoso + plástico: Formación Vía Blanca, flysch arenoso-conglomerático
 - Grupo plástico + arenoso: Formación Capdevila, flysch arcilloso-arenoso
- Formación ingeniero – geológica carbonatado-terrígena. Agrupa a las formaciones Peñalver, Apolo y Universidad (Mbros Toledo). Las dos últimas pertenecen a un mismo grupo ingeniero geológico.
 - Grupo rocoso: Formación Peñalver, calciruditas, calcarenitas, calcilutitas.
 - Grupo semirocoso: Formaciones Apolo y Universidad, margas, calizas arcillosas y limolitas
- Formación ingeniero – geológica carbonatada. Constituida por la Formación Colón en ella están presentes las características de dos grupos geotécnicos.
 - Grupo rocoso + semirocoso: calizas y calcarenitas

- Depósitos Cuaternarios

Grupo plástico arenoso: Depósitos aluviales, arcillas, guijarros, gravas y arena. Aunque no se confeccionó un mapa ingeniero geológico como tal, se puede delimitar espacialmente, cada uno de los grupos geotécnicos diferenciados a partir de la cartografía de cada una de las unidades litoestratigráficas presentes en el área y representadas en el mapa geológico (Fig. 2).

A continuación, se procede a la descripción de cada unidad litoestratigráfica con algunos comentarios sobre sus propiedades ingeniero-constructivas.

B.1.2. Depósitos carbonatado - terrígenos del Cretácico Superior-Eoceno.

Formación Vía Blanca (*Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano, K_2 cp - m vb*)

Consiste fundamentalmente en una secuencia flyshoide de composición arcillo-arenosa: lutitas, limolitas y areniscas grauváquicas de color rojizo-carmelitoso, a veces con finas intercalaciones de margas blancas y capas de conglomerados. Esporádicamente aparecen paquetes de material vulcanógeno (tufitas de color verduzco-amarillento).

Está extensamente representada, conformando una llanura suavemente ondulada, cuya superficie está casi totalmente cubierta por una capa de suelo arcilloso de color gris oscuro, donde se desarrollan parte del sector urbanizado, diversos cultivos agrícolas y abundante vegetación arbustiva, por lo que el grado de afluencia es muy bajo, observándose apenas en pequeñas ventanas erosivas. Debe evitarse el mínimo de afectación a la capa vegetal que cubre estos sedimentos ya que los protege del intemperismo y la erosión. Estos procesos generan en ellos la formación de cárcavas aumentando y acelerando el aporte de sedimentos a ríos, arroyos y embalses artificiales lo cual puede provocar la colmatación del mismo amén del impacto visual que ocasiona debido a la transformación del paisaje.

Estas rocas están generalmente plegadas, conformando pliegues invertidos tumbados o normales, y dislocadas tectónicamente razón por la cual presenta una intensa fracturación.

En las labores ingeniero-constructivas juega un papel importante el agrietamiento de estratificación por lo cual debe tenerse en cuenta la tendencia sublatitudinal de la dirección de los estratos a la hora de construir taludes con el fin de disminuir la posibilidad de deslizamiento, razón por la cual los taludes deben ser cortados de forma tal que las capas queden buzando hacia el talud o en su misma dirección en caso contrario debe ser utilizado algún tipo de revestimiento (Iturralde-Vinent, 1985).

La parte más fina del flysch es considerada como prácticamente impermeable por tanto apropiada para el embalse de agua.

Las arcillas están presentes en un alto porcentaje en estas rocas, por lo que es necesario, debido a las cualidades físico-mecánica de las mismas, estudiarlas en detalle si se edifican sobre ellas construcciones pesadas, puentes para ferrocarriles etc. Aunque apenas se observan en el área, los conglomerados, no son una buena base para este tipo de construcción pues constituirían un basamento irregular por lo que a la hora de planificar cualquier tipo de construcción su presencia en el área debe ser descartada.

Las litologías finas y medias constituyen un material utilizable principalmente en la construcción de terraplenes.

Formación Peñalver (*Cretácico Superior Maastrichtiano, K₂^m pñ*)

Yace discordantemente sobre la Formación Vía Blanca, aflorando el corte completo de la unidad; desde calciruditas en la base, pasando por las calcarenitas de grano grueso, raramente estratificadas y otras de grano medio a fino, hasta algunos espesores de calcilutitas grises, grises-blancuzcas, mejor estratificadas, correspondientes a la parte superior del corte. El aspecto arriñonado producto del intemperismo es característico para este tipo de roca.

Tienen buena expresión en el relieve, los puntos mas altos corresponden mayormente con rocas de la Formación Peñalver, Son fácilmente cartografiables como cuerpos aislados que forman colinas o casquetes y bandas alargadas, a veces anchas. Cuenta con una amplia representación en la cuenca hidrográfica, siendo el substrato sobre el cual se erige la mayor parte del enclave urbano

La erosión de los sedimentos clásticos – carbonatados (fundamentalmente de la secuencia calcarenítica), en zonas donde escasea la cobertura vegetal, provoca el desarrollo de cárcavas (Foto No.2). El material originado es una arena la cual es transportada desde los puntos altos donde afloran y acumuladas en las partes bajas del relieve propiciando las condiciones para el aumento de deposición de sedimentos en la red hidrográfica y la probable colmatación de la cuenca.

Esta arena es de buena calidad y muy explotada ya sea estatalmente o de forma particular para ser empleadas en labores constructivas. A partir del resto de los materiales puede elaborarse grava para ser usada en diversos renglones de la construcción.

Por sus altos valores de resistencia a la comprensión y por su baja porosidad constituyen una base segura para obras pesadas ya de hecho comprobadas por el sinnúmero de edificaciones que sobre ella descansan. Sin embargo, su vínculo espacial con las formaciones Vía Blanca y Apolo hace que se relacionen rocas clástico - carbonatadas con margas arcillas y areniscas por supuesto con propiedades físico-mecánicas diferentes. Por esta razón, es necesario, siempre, comprobar que los cimientos de una obra sean construidos en un sector litológicamente homogéneo (o con heterogeneidad homogénea) y no con elementos mezclados para de este modo garantizar la seguridad de la obra (Iturralde –Vinent, 1985).

Formación Apolo (*Paleoceno Superior, P₁³ ap*)

Yace transgresivamente sobre las formaciones Peñalver y Vía Blanca, en ocasiones buzan inversamente hacia el sur por debajo de Peñalver y evidencia de pliegues volcados al Norte. Consiste en una secuencia rítmica de arcillas, aleurolitas de color carmelita oscuro a rojizo, aleurolitas y grauvacas de cemento calcáreo amarillentas o gris verdosas con intercalaciones de margas blancas, a veces ocrosas. Se disponen en forma de bandas alargadas en la parte centro y sur del área de la cuenca hidrográfica. Dadas sus características litológicas tiene un bajo grado de aflorabilidad

Morfológicamente repite el paleorelieve de las formaciones que cubre, por lo que suele aparecer rellenando oquedades sobre Peñalver o Vía Blanca, ocupando las partes bajas del relieve.

El fuerte agrietamiento de las rocas facilita los procesos de erosión e intemperismo aunque el efecto de este último es amortiguado por la presencia frecuente de arcillas.

Sus características litológicas y estructurales (contenido abundante de arcillas y buena estratificación) hacen posible los deslizamientos y derrumbes en los taludes artificiales (Iturralde-Vinent, 1985). Deben

aplicarse las medidas recomendadas para la Formación Vía Blanca para situaciones similares, según el caso.

Formación Capdevila (*Eoceno Inferior, P₂¹ cp*)

Las rocas de Capdevila afloran en grandes áreas, fundamentalmente en la parte central y occidental de la cuenca. Sobreyace transgresivamente a las formaciones Vía Blanca y Peñalver. Al igual que esta última constituye el substrato sobre el cual se desarrolla el enclave urbano.

Este conjunto litológico está representado por una interestratificación gruesa a media de areniscas de grano grueso, grauvacas, argilitas limosas y margas de color generalmente amarillento-carmelitoso, hasta carmelitoso - anaranjado, a veces puede confundirse con la parte baja de Peñalver, de la que se diferencia por su marcada estratificación.

La intensa fracturación y plegamiento característico de estas rocas, las cuales conforman pliegues tumbados e invertidos, facilita su rápida alteración y erosión, razón por la cual es muy necesario preservar su cobertura vegetal.

Estos depósitos desde el punto de vista hidráulico son clasificados como impermeables siendo ideales para ubicar embalses.

Partiendo del hecho de que sus taludes naturales son muy suaves y atendiendo a su estratificación deben ser cortados con pendiente suave evitando de esta forma deslizamientos y derrumbes (Iturralde-Vinent, 1985).

Las características físico-mecánicas de la Formación Capdevila indican que la misma constituye un buen substrato para cualquier tipo de obra, así como un buen material para la construcción de terraplenes en presas de tierra.

Formación Universidad, Miembro Toledo (*Eoceno Inferior-Medio, P₂¹⁻² tl*)

Aflora de forma muy local en el centro este del área, en un sector intensamente urbanizado por lo que su cartografía se hace bastante difícil. Sobreyace concordantemente a la Formación Capdevila. Constituidas por calizas arcillosas o calizas cretosas de color blánquecino-grisáceo con intercalaciones de calizas silíceas blanco amarillentas muy bien estratificadas con buzamiento hacia el S-SE.

Son consideradas geotécnicamente como rocas menos duras con resistencia temporal a la compresión. Las relaciones entre los componentes son menos fuertes y puede romperse bajo la acción del agua. Si no están alteradas pueden soportar cargas importantes

B.1.3 Depósitos de la cobertura platafórmica post-oligocénica.

Formación Colón (Mioceno Inferior, N₁¹ cl).

Aparece en un pequeño sector al sur del territorio en forma de bandas estrechas y alargadas como único vestigio de la cobertura platafórmica casi totalmente erosionada en el área. Sobreyace discordantemente a las Formaciones Capdevila y Peñalver.

Litológicamente consiste en biocalcarenitas y biocalciruditas finas de color crema, de matriz algo arcillosa y margas amarillo crema con abundante presencia de microfósiles y restos de corales.

Son buenas como base para obras ingenieriles no obstante debe tenerse en cuenta la geometría, el carso y la estratificación. No son recomendables como área de embalse.

En estas calizas se observa el desarrollo de la carsificación a favor de los poros y de las grietas dando lugar a un complicado patrón de cavernosidad afectando sus propiedades ingeniero-constructivas (Iturralde Vinent, 1985). Además, debido al proceso de disolución disminuye la capacidad de resistencia de las rocas al perder cohesión sus partículas componentes llegando en ocasiones, por esta razón, a convertirse la roca en polvo calcáreo. Es necesario por lo tanto realizar los estudios correspondientes antes de enfrentar la construcción de obras de cierta complejidad.

Sedimentos aluviales indiferenciados (*Q_{al}*)

Ocupan en el territorio áreas relativamente extensas sobre todo en los valles de inundación (zonas muy bajas entre 0 y 5 m de altura), generalmente sobre la Formación Vía Blanca, donde ésta se cubre por una gruesa capa de suelo arcilloso, arcillo-arenoso de color gris oscuro a negro, observándose en algunos casos hasta más de 1 m de espesor. Hacia la parte norte del territorio puede encontrarse una mezcla de guijarros, gravas, arenas y limos y/o arcillas provenientes de las diferentes formaciones presentes en el área. Estos sedimentos no deben ser utilizados como bases de obras constructivas por su alta compresibilidad e hinchamiento (Iturralde-Vinent, 1985).

B.1.4. Tectónica

La zona de la cuenca hidrográfica se encuentra enclavada en un gran bloque elevado fuertemente erosionado, donde afloran las rocas más antiguas (del Campaniano al Eoceno); las cuales están intensamente plegadas y tectonizadas formando escamas tectónicas y pequeños mantos como resultado de esfuerzos de compresión de sur a norte.

La tectónica disyuntiva está en general débilmente expresada, limitándose a límites tectónicos y fallas de ángulo suave y forma irregular de muy difícil fotointerpretación y pequeñas fallas y grietas de direcciones normales a las anteriores y que raras veces son mapeables por su escala.

Como una falla importante tenemos una de dirección submeridional la cual corre a lo largo del río Luyanó hasta la bahía de la Habana. Esta falla o zonas de fallas, provoca desplazamientos y cambios de importancia dentro del bloque Habana. No obstante, puede decirse que estas estructuras no constituyen causa de peligro por su movilidad debido a que la mayor parte de ellas no son activas

La tectónica plicativa pudiera tener ciertas implicaciones en los procesos erosivos en el área de la cuenca. En los lugares de ocurrencia de los pliegues tumbados del Fm Peñalver, los buzamientos invertidos provocan la ocurrencia de derrumbes de ladera y deslizamiento de bloques, en aquellos lugares donde coinciden con pendientes pronunciadas por crearse mayor inestabilidad al quedar las capas prácticamente colgando. Esta situación puede ser observada con claridad en un lugar conocido como Carolina donde han ocurrido derrumbes debido a los factores citados.

B.2. Características Geomorfológicas.

La superficie de la cuenca del río Luyanó está formada por un variado relieve de alturas, llanuras onduladas y llanuras fluviales, que reflejan con bastante claridad las características geológicas del área, y en la cual se pone de manifiesto la presencia de la actividad neotectónica.

Los tipos de relieve se distribuyen formando franjas transversales al perfil longitudinal del río, en el cual se observa la combinación de las alturas en su gran mayoría coronadas por la Formación Peñalver y sus partes más bajas asociadas con la Formación Apolo y Vía Blanca, y las superficies más bajas y planas representadas por las llanuras y terrazas fluviales.

El relieve de la cuenca se encuentra formado por los complejos morfogénicos siguientes (Fig. 3):

Alturas Erosivas Alineadas en Parteaguas sobre rocas calcilitas, calciruditas y calcarenitas.

Llanuras Erosivo – Denudativas onduladas sobre rocas flyshoides.

Llanuras y Terrazas fluviales Erosivo – Acumulativas altas.

Llanuras y Terrazas fluviales Acumulativas y Acumulativas – Erosivas.

Llanuras y Terrazas fluviales Acumulativas, bajas y planas.

Llanuras y Terrazas Fluvio – Marina, baja, plana y pantanosa.

Llanura en Manto de sobrecorrimiento.

Las Alturas Erosivas tienen su ubicación en los puntos más altos del relieve, formando los parteaguas locales y general de la cuenca. Con una amplia distribución espacial constituyendo elevaciones en forma de franjas transversales que cortan el perfil longitudinal del río, con dirección SE –NO.

Con estas alturas se asocian los valores más altos de pendientes de la cuenca, en el rango entre 12° y 20° para las alturas que se ubican en la porción media y baja y entre 20° y 45° para la porción meridional.

Estas alturas se asocian en un alto por ciento con la Formación Peñalver que cuando la cobertura vegetal sobre ella es pobre o se encuentra afectada por otros procesos antrópicos, se desarrollan en la misma procesos erosivos intensos, entre los que encontramos las cárcavas (Foto No2).

Las Llanuras Erosivo – Denudativas se extienden por gran parte del territorio de la cuenca, alternándose con las alturas en la porción medio y alta de la misma y con las llanuras en la en las partes bajas y medias. Cuando se relaciona con las llanuras, sus pendientes están en el rango entre 1° y 3° y cuando son con las alturas pueden alcanzar hasta pendientes de 6° .

Llanuras y Terrazas Fluviales Erosivo – Acumulativas tienen una extensión espacial limitada como consecuencia de que su formación, está relacionada con el material acumulado por las aguas del escurrimiento superficial concentrado de las corrientes temporales. Se ubican en puntos altos del relieve con bajos valores de pendientes.

Llanuras y Terrazas Fluviales Acumulativas y Erosivo – Acumulativas se sitúan en el relieve a continuación de las anteriores y en posiciones hipsométricas más bajas, donde los cauces resultan algo más amplios, teniendo estas áreas una extensión mayor de los depósitos aluviales desarrollados sobre las superficies con bajo ángulo de pendientes.

Llanuras y Terrazas Fluviales Acumulativas, Bajas y Pantanosas se distribuyen espacialmente en la sección baja de la cuenca, próximo a la desembocadura con pendientes de un grado y menor casi

horizontales formadas por la acumulación de grandes volúmenes de sedimentos aluviales del cuaternario.

Llanura Fluvio – Marina situada en el entorno a la desembocadura, en la zona de interacción entre el mar y el río donde se observan depósitos de arcillas con conchas, su extensión es reducida, no pudiéndose establecer su límite Sur por la urbanización.

Llanura en Manto de Sobrecorrimiento limitada a una zona reducida donde las curvas de nivel se inflexionan formando unas colinas bajas sobre los cuerpos nappe escamados. La pendiente de esta área limitada está entre 1° y 3° .

Fueron cartografiadas algunas áreas que han recibido el impacto de la actividad antrópica y otros procesos naturales vinculados con la erosión en la cuenca.

B.2.1. Perfiles longitudinales, transversales y secciones esquemáticas.

El perfil longitudinal del río Luyanó dada su extensión, fue representado parcialmente por problemas de edición además que la zona no incluida no aportaba nuevos datos (Fig. 4).

El perfil tiene una extensión lineal de 13 km., desde su nacimiento en los límites del Cotorro próximo al primer anillo hasta su desembocadura en la ensenada de Guasabacoa. Los cambios en sus niveles de base reflejan en algunos casos las características propias del relieve y la estructura geológica.

En el caso de esta cuenca y coincidiendo con un relieve más vigoroso y diseccionado que el de la cuenca Martín Pérez se aprecia como a partir del último o cuarto cambio del nivel de base, (considerando el primero como el más elevado) que el perfil es prácticamente horizontal, con valores de pendientes muy bajo. A partir del mismo punto de referencia, pero aguas arriba se observan variaciones mayores en las inclinaciones del perfil.

Si calculamos la pendiente general para todo el perfil longitudinal, en el cual su extensión lineal es de 13 000 m. y su diferencia altitudinal de 110m. podemos determinar que su pendiente general oscila en el rango de uno a dos grados, pero si dividimos el perfil en dos partes considerando el último cambio del nivel de base, y tomamos el segmento superior, entonces podemos ver que la pendiente media para este tramo, es superior en 8 o 9 grados a la pendiente general. El espacio que se corresponde con las pendientes del perfil más suave se relacionan con las llanuras fluviales, mientras que las pendientes más fuertes reflejan un relieve elevado y más diseccionado. Lo que indica un perfil menos evolucionado donde la acción fluvial no ha podido eliminar las diferencias del relieve o donde se pone de manifiesto la actividad neotectónica, o ambos inclusive.

El perfil transversal (Fig. 4 Sección AA') puede representar un argumento sobre la idea de la presencia de la actividad neotectónica, pues en el mismo se aprecia como los depósitos aluviales tienen poco desarrollo y una morfología de uve del valle fluvial, que es característico en este tipo de proceso, provocado por la profundización del cauce. Se observa además la ubicación del curso del río en una zona de debilidad geológica por encontrarse en una zona de contacto entre dos formaciones geológicas.

Si observamos el perfil transversal (Fig. 4 Sección MM') veremos que la diferencia de altura del cauce y la cota superior entre el perfil anterior y este es prácticamente el doble en un espacio horizontal pequeño, lo que atestigüa sobre los cambios de pendientes en el cauce del perfil superior. En este perfil se puede ver la extensión superficial de los depósitos aluviales que se formaron en los puntos próximos a la confluencia de las corrientes, formando su llanura aluvial.

El perfil más bajo (Fig.4 Sección B B') coincide con la zona donde aumenta considerablemente la sinuosidad del río, formando meandros y donde se amplía por esa causa la extensión superficial de los depósitos cuaternarios.

En las secciones esquemáticas de los perfiles transversales AA' se ven los diferentes niveles de terrazas que en la sección del perfil transversal MM' también se observan pero con una extensión superficial mucho mayor y con pendientes más suaves.

Se plasma en esta sección un proceso observado en las escarpas de las terrazas donde producto de la combinación de la erosión lateral con desprendimientos de las escarpas, se forman circos de caída. (Foto No. 3)

Entre los elementos fluviales, además de las terrazas se localizan aluviones de cauce, y depósitos de barra (que son mejores observados en la sección del perfil BB'). Producto de la erosión y arrastre de las corrientes longitudinales y transversales, muchos de estos depósitos, como consecuencia de las crecidas son nuevamente erosionados y redepositados en dirección a la pendiente, produciendo cambios considerables en la morfología del cauce.

Un elemento que demuestra el nivel de antropización de esta cuenca se refleja también en las secciones esquemáticas, donde se observa la presencia de viaductos, actividad agrícola, vertimientos de basura, escombros y residuales domésticos e industriales y la propia limitación de los perfiles a causa de la urbanización que han transformado grandemente la morfología y dinámica de la cuenca.

Un aspecto necesario abordar, tiene que ver con la obra de ingeniería realizada en el río, en el entorno a la Virgen del Camino (antes y después del puente Alcoy) en el cual se situaron piezas de hormigón en ambos lados del cauce, al parecer para minimizar los efectos de las inundaciones.

Como consecuencia de esa obra, todo el material que antes era arrastrado por la corriente en condiciones naturales y se extendía por la llanura de inundación, ahora se acumulan dentro de esta estructura, generando grandes volúmenes de sedimentos que provocan la colmatación del cauce. Por lo que se hace necesario dragar este material con determinada regularidad, en la actualidad se encuentran realizando la extracción de dichos depósitos.

Como resultado de ese dragado se genera una nueva alteración de la morfodinámica de este río a consecuencia de la alteración de su dinámica, provocando una reactivación de los procesos erosivos acumulativos en la cuenca.

B.2.2. Pendientes.

Los ángulos de las pendientes en esta cuenca, son un indicador más de las características externas del relieve y su distribución espacial así lo reflejan.

En esta cuenca existe un predominio de las pendientes mayores de 20° en toda la porción medio – superior de la misma, correspondiéndose con un relieve de elevaciones con alturas que alcanzan valores superiores a los 90 m. y hasta los 110m. Los valores altos de las pendientes ($20 - 45^\circ$) se observan en la porción Sur y Suroeste de la cuenca, localizándose también en algunos tramos de las laderas del río y elevaciones aisladas. El escurrimiento superficial en estas pendientes con ángulos fuertes genera una actividad erosiva grande.

Los rangos de pendientes entre 12 y 20° están asociados fundamentalmente a los parteaguas Sur de la cuenca, observándose también en la porción medio- inferior de la misma (Fig. 5), asociada con las áreas de la llanura ondulada. En estos territorios, los suelos se encuentran afectados por el escurrimiento, donde se requieren medidas para su control.

Los valores en el intervalo de 6° a 12° se encuentran distribuidos por toda la cuenca, y su mayor presencia se asocia con las alturas y llanuras onduladas de la cuenca y a territorios interiores llanos con pequeños montículos.

La pendiente menor de 1° hasta 6° se distribuyen por toda la cuenca, lo mismo asociadas a las llanuras fluviales como a las alturas, donde el escurrimiento superficial afecta los suelos que se sitúan sobre este relieve.

Los ángulos de pendientes menores de 1° predominan en la porción más baja de la cuenca, donde se desarrollan las llanuras fluviales acumulativas con un relieve plano casi horizontal y en tramos llanos asociados con llanuras de inundación del río.

B.2.3. Procesos Erosivos- Acumulativos.

Estudiar el proceso de erosión – sedimentación significa, conocer toda una serie de aspectos relacionados con el mismo, aplicado a la cuenca objeto de estudio. Los cuales abordaremos más adelante, resultando esenciales para llegar a entender los mecanismos que tienen lugar en la superficie del terreno.

Los procesos erosivos tienen su significado de acuerdo a la escuela que lo defina, para nuestros objetivos vamos a considerar la acepción más amplia, la cual plantea o utiliza los términos erosión lineal y erosión laminar para distinguir los efectos de los agentes erosivos como el agua, sin excluir otros agentes como el viento, las olas etc.

Dado que el agente erosivo fundamental en nuestro caso está relacionado con el escurrimiento laminar y lineal por efecto del movimiento de las aguas por la superficie, y como también corresponde al agua ser el agente más activo en la dinámica de la erosión en la cuenca objeto de estudio, haremos hincapié en el análisis con ella vinculado.

La densa red del escurrimiento superficial en esta cuenca asociado con los altos valores de las pendientes, provoca una disminución de la infiltración y un aumento del escurrimiento superficial tanto laminar como concentrado, generando un aumento del arrastre ladera abajo, favorecido por la gravedad. Este proceso ocurre fundamentalmente en la porción medio – superior de la cuenca donde las características son más favorables.

Este proceso erosivo – acumulativo que comienza en las laderas más elevadas y se extiende por todos los desniveles del terreno, arrastra los sedimentos hacia las partes más bajas y de estos a las corrientes temporales y permanentes, donde comienza un proceso de acumulación - erosión que luego se repite en niveles más bajos en dependencia de las características de la dinámica fluvial en la que entran a jugar entre otros las pendientes tanto de las laderas como del perfil longitudinal del río y los niveles de base de erosión.

Un momento importante de reactivación de estos procesos se relacionan con crecidas o avenidas, en el cual los volúmenes y velocidad de las aguas aumentan considerablemente y con ello su fuerza viva, que utiliza en erosionar el fondo, las riveras y en acumular más tarde cuando su fuerza disminuye. Una parte de los sedimentos que arrastra son depositados, llevando las partículas más pequeñas en suspensión hacia puntos más distantes en el valle de inundación o continuando su movimiento hacia la cuenca de recepción que recibe el aporte, que en este caso es la bahía de La Habana.

En este sistema fluvial, el mayor de los que aporta sus aguas y contaminantes a la bahía, se puede observar la amplia distribución de los depósitos aluviales, formando parte de las terrazas fluviales acumulativas asociadas fundamentalmente a la corriente principal y secundarias de la cuenca.

En esta cuenca, dentro del desarrollo de su dinámica y evolución podemos observar como los procesos de erosión se encuentran relacionado fundamentalmente con las formaciones que hipsométricamente se ubican en las áreas que integran su parteagua principal, formado en un porcentaje mayor por la Formación Peñalver y los suelos con ella asociados, donde las pendientes tienen los mayores valores, a lo que se añade que las corrientes compuestas por los ríos de órdenes más pequeños, que se asocian con los parteaguas, erodan y arrastran el material de suelo y roca pendiente abajo.

Se tomaron algunas muestras en puntos de acumulación de sedimentos y donde los resultados obtenidos del análisis mineralógico han servido para confirmar que todos los conjuntos litológicos que afloran en el área aportan sedimentos a la cuenca, particularmente las rocas de las formaciones Vía Blanca y Peñalver como así lo evidencia la presencia abundante de carbonatos, fragmentos de rocas arcillosas, arcillosas carbonatadas y carbonatadas, además de una serie de minerales pesados indicadores de la fuente de suministro (Quintas Caballero, 1986). En cantidades muy pequeñas se aprecia la presencia de minerales de rocas metamórficas como cianita, sillimanita y serpentina; minerales de rocas básicas y ultrabásicas como leucóxeno, plagioclasas alteradas, que conjuntamente con la presencia de minerales provenientes de sedimentos redepositados como el rutilo, circón, óxidos e hidróxidos de hierro, cuarzo, conforman parte del componente clástico de los flysch terrígeno arcillosos y los depósitos clástico carbonatados del Cretácico y el Paleógeno aflorantes en el área (tabla 1).

En los casos en que la formación Via Blanca, subyace a Peñalver que se ubica más alta en el relieve, se aprecia como en la morfología de las curvas de nivel y niveles de cima dejan huellas a consecuencia de que las aguas concentradas que arrastran el material de la formación Vía Blanca más débil a los procesos erosivos, produciendo el arrastre posterior de los suelos y rocas que se encuentran en la parte superior del corte.

Los procesos erosivos se ponen de manifiesto en los parteaguas más altos fundamentalmente al Sureste de la cuenca, favorecidos por los ángulos de las pendientes y el laboreo agrícola en las mismas, arrastrando los sedimentos hacia el nivel de base artificial que representa el embalse Río Hondo, en el cual se comienzan a observar las acumulaciones aluviales. Este mismo proceso se manifiesta también en los parteaguas Suroeste y Este, en el curso medio y alto de la cuenca, pero variando su intensidad de acuerdo a las características del relieve y al grado de afectación antrópica.

En algunas de estas elevaciones y como resultado de la antropización, se aprecia la intensificación del lavado superficial del suelo y el substrato, produciéndose las formas características del drenaje concentrado conocidos como cárcavas (Foto No.2), cuya acción sobre la superficie ocurre de forma intensa, destruyendo los suelos y produciendo un aumento considerable de sedimentos pendiente abajo.

De las cuestiones tratadas podemos considerar dos momentos: el primero que tiene que ver con la erosión y el traslado de sedimentos hacia puntos más bajos del relieve, desde sus laderas, conocidos como Procesos de Pendiente y que se corresponden con la fuente primaria de aporte (FPA).

Y un segundo momento en que el material forma parte de la propia dinámica del río, donde comienzan los procesos erosivos – acumulativos y nuevamente de erosión y redeposición regidos por la dinámica fluvial.

Resulta fundamental en este análisis considerar que los procesos asociados con la dinámica fluvial están regidos por leyes que no pueden ser cambiadas, pero que sí pueden alterarse de acuerdo al nivel de afectación antrópica que tiene cada cuenca en cuestión, acelerando o deteniendo los mismos.

La FPA producen el sedimento, el cual sufre posteriores arrastres a consecuencias del propio ciclo de evolución de la pendiente y el valle, como resultado de cambios en los niveles de base, fuertes lluvias y avenidas, donde las corrientes se hacen más efectivas por su volumen y velocidad, produciendo transformaciones considerables en la morfología de las laderas y el valle. (Foto No. 4)

De esta manera se manifiesta la erosión, transporte y acumulación del material desde las FPA, que en este caso se relacionan fundamentalmente con las elevaciones y parteaguas Sureste, Noroeste y Este a través de las corrientes efímeras, temporales y permanentes, trasladando por su cauce por arrastre en unos casos y en suspensión en otros, generando las formas acumulativas características como aluviones de cauce, depósitos laterales y de barra. (Fig. 4).

Un factor que se conjuga con los anteriores, tiene que ver con la morfología del relieve, en particular su disección vertical. Sí es una llanura, el perfil de equilibrio está más evolucionado y genera la disminución de la velocidad de la corriente y un aumento de la divagación de sus aguas que provocan la formación de meandros y desaparición prácticamente de su actividad erosiva, reduciéndose al mínimo el transporte. Estos procesos generan la amplitud de la llanura fluvial en dirección a su desembocadura.

Estos procesos de erosión – acumulación que de forma natural ocurren en la cuenca, son afectados de manera continua y creciente por la acción humana, degenerando algunos de ellos en procesos acelerados de erosión conocidos como Erosión Antrópica. Muchos son los ejemplos que ilustran esta realidad, en primer lugar, la reducción continua y creciente de las áreas de la cuenca por la urbanización y la actividad agrícola, además de otras acciones que como vertederos y vertimientos directo a la corriente de basura, escombros y residuales líquidos industriales y domésticos. Todo lo cual hacen de esta cuenca sin lugar a dudas la que más aporte en cargas, aporta a la bahía de La Habana.

B.2.4. Análisis de susceptibilidad a la erosión.

Para el análisis de susceptibilidad a la erosión fue utilizada la herramienta de un Sistema de Información Geográfica, teniendo en cuenta los temas o capas siguientes:

Pendientes en grado, relieve (curvas de nivel) y vegetación. Los mismos fueron reclasificados para su posterior análisis de la siguiente manera, los seis rangos de pendientes se agruparon en tres tipos, las que estaban en el rango de 1° a 3° se le asignó peso uno, de 3° a 12° peso cinco y de 12° a 45° peso diez. Dándole a este tema el mayor peso de los incluidos (Tabla No 2).

Tabla No. 2 Peso asignado a los temas.

Pendientes.	Peso.	Curvas de Nivel	Peso	Vegetación.	Peso.
< 1- 3	1	1 - 20	1	Ruderal	0
3 - 12	5	20 - 40	2	Bosques Plantaciones Matorr Sec.	1
12 - 45	10	40 - 80	3	Sabana	2
		> 80	4	Cultivos	3

El relieve representado por las curvas de nivel se agrupó en tres rangos: de 1 a 20 m., de 20 a 40 m., de 40m. a 80m., y mayores de 80 a los que se le asignaron los pesos uno, dos, tres y cuatro respectivamente.

La vegetación fue agrupada de la forma siguiente: ruderal peso 0, bosques, plantaciones y matorrales secundarios, se les asignó peso uno, al complejo de sabana se le asignó peso dos y a las áreas de cultivo, tres.

Los pesos asignados a cada una de las temáticas incluidas se basaron en la influencia mayor o menor de cada una de ellas vinculadas con la erosión, la más vulnerable se representaba con el mayor valor o peso, así mismo dentro de los componentes de cada tema.

El análisis, fue el resultado de operar la suma de los diferentes temas considerados (overlay) dando como resultado el mapa de susceptibilidad a la erosión en tres categorías: baja, media – alta y alta susceptibilidad.

Dado que la erosión en este caso está relacionada fundamentalmente con el escurrimiento superficial, se le situó al mapa resultante, la red fluvial ordenada, en la cual se le asignó un color para los ríos de primero y segundo orden y los restantes de diferentes colores. Lo cual nos permite señalar que las áreas de susceptibilidad media y alta que están cortadas por corrientes del orden menor (primero y segundo), son por tanto las más afectadas por los procesos erosivos, o sea, que resultan las Fuentes Primarias de Aporte que generan la mayor cantidad de sedimentos en la cuenca.

B.3. Trabajos Geofísicos.

B.3.1. Técnicas Geofísicas empleadas.

El complejo de métodos geofísicos en el proyecto geoambiental del río Luyanó. se utilizó para resolver los siguientes objetivos:

1. Determinación de la profundidad de yacencia y configuración del zócalo rocoso por debajo de los depósitos aluviales que lo recubren.
2. Apoyo al mapeo geológico fundamentalmente en la definición de los contactos entre las diferentes formaciones ó paquetes de rocas existentes en el área.
3. Determinación de la dirección del movimiento de la contaminación asociada a las aguas sub - superficiales de infiltración originadas como resultado de las aguas meteóricas y/ó a vertimientos de líquidos industriales en el suelo.

Para cumplir con las tareas anteriormente planteadas se planificó el siguiente complejo de métodos, para los cuales se situaron los correspondientes perfiles (Fig. 7):

1. Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).
2. Magnetometría.
3. Campo Eléctrico Natural (CEN).

B.3.2. Metodología de los trabajos de campo.

Para la realización del SEV se empleó la instalación simétrica de Schlumberger, con abertura máxima de $AB = 200$ m.

Como transmisor (TX) se utilizó el generador ANCH-3 de manufactura rusa y como receptor (RX) se emplea el equipo digital ERA-89 del mismo origen; como implementos auxiliares se utilizaron electrodos de acero para el AB y de bronce para la línea receptora MN, además de cables alimentadores y receptores.

Las líneas de medición y alimentación se colocaron paralelas con cierta separación, evitando siempre que ambas líneas se cruzaran; en aquellos puntos donde las variaciones fueron bruscas se repetían las mediciones y se comprobaban las dimensiones de las aberturas y dirección de las líneas.

La magnetometría se realizó en aquellos perfiles donde existía un bajo nivel de aflorabilidad. El equipo utilizado fue el magnetómetro protónico de fabricación soviética MMP-203-M, las observaciones se hicieron en una red irregular con paso de 5 m.. Con el objetivo de controlar las variaciones diurnas del campo magnético se seleccionó un punto de control donde se comenzaban y terminaban las mediciones; el mismo se encontraba en un lugar accesible y donde no existían valores altos del campo.

Las mediciones del Potencial Espontáneo se realizaron según la variante de potencial circular con una distancia entre los perfiles de 45^0 y un paso de medición de 2 m. colocándose el electrodo N en el centro del círculo.

B.3.3. Elaboración de los materiales.

SEV: Se recalcularon todos los valores obtenidos durante la campaña de campo y posteriormente se realizó la interpretación mediante las curvas teóricas de dos capas y curvas auxiliares (nomograma de Pilaev). Con estos datos se confeccionaron los cortes geoelectricos y de iso-ohmas en aquellos lugares donde se pudo realizar más de un punto de SEV.

Magnetometría: Los resultados se muestran en forma de gráficos de ΔT . Para la confección de los gráficos se tuvo en cuenta el valor del nivel de campo (que se calculó mediante el promedio de los valores observados), el que se tomó convencionalmente como cero, considerándose los valores superiores a ese nivel como positivos y los menores como negativos.

Los valores de ΔT se calcularon por la siguiente fórmula:

$$\Delta T = T_{\text{obs.}} - T_{\text{nc.}} \pm C$$

Donde: $T_{\text{obs.}}$ – mediciones ordinarias.
 $T_{\text{nc.}}$ – Nivel de Campo.
 C – Corrección por variación diurna.

CEN: Con los datos primarios después de revisados, se confeccionaban los mapas de isolíneas según la distribución de los perfiles (45^0) y se realizaba la interpretación sobre la base que el movimiento de las aguas refuerza el abastecimiento de oxígeno y al mismo tiempo se lleva varios productos de reacciones químicas lo que mejora las condiciones de estas y estabiliza y eleva los valores de los potenciales, por lo que en aquellas direcciones de mayores gradientes coinciden aproximadamente con la dirección de marcha de aguas subterráneas.

B.3.4. Resultados obtenidos:

B.3.4.1. Campo Eléctrico Natural.

Haciendo un análisis de los diagramas polares confeccionados sobre los datos obtenidos en el método de CEN, podemos observar que en los 5 puntos todos los valores son negativos (Fig. 8), detectándose los lugares de filtración de las aguas hacia las profundidades lo que nos indica que en el 100 % de las áreas estudiadas la posible contaminación vertida en los suelos, afecta tanto a las aguas superficiales como a las subterráneas.

Durante la filtración de la solución a través de una capa porosa (aluvión) los diferentes potenciales electroquímicos se suman en un campo común, la relación de este campo y la dirección de flujo de las aguas subterráneas fue el que nos sirvió como índice para trazar las flechas que indican el rumbo de la posible contaminación en los puntos donde se realizaron la investigación. Aunque haya direcciones que parezcan contradictorias hay que tener en cuenta que el nivel hidrostático pocas veces suele ser horizontal y que repite las ondulaciones del terreno teniendo una pendiente bien marcada en dirección a las depresiones donde fluyen impulsada por la gravedad (ver gráficos de los diagramas polares).

.3.4.2. Sondeo Eléctrico Vertical.

Con el SEV se pudo aclarar el carácter y posición del contacto entre el aluvi3n y el z3calo rocoso, así como la resistividad eléctrica de ellos:

- Aluvi3n (2-30) Ω -m.
- Lecho Rocos0 (60- 300) Ω -m.

Para mayor compresi3n de lo expresado anteriormente se deben observar los cortes de Isoohmas, geoele3tricos y la correlaci3n de las curvas de SEV con las columnas geol3gicas interpretadas (Fig. 9).

Como se puede observar en la tabla 3, las profundidades de contacto entre el aluvi3n y el lecho rocoso oscila entre 4 y 20 m.

Tabla 3. Interpretaci3n Cuantitativa de los SEV

No. del Punto.	Ubicaci3n.	Resistividades (Ω-m.)	Profundidades (m.)
SEV # 1	Dolores Consultorio	$\rho_1=2$; $\rho_2= 100$	$H_1= 5$
SEV # 2	Las Lajas (5 m. del r3o)	$\rho_1=3$; $\rho_2= 100$	$H_1= 6$
SEV # 3	Las Lajas (25 m. del r3o)	$\rho_1=1.1$; $\rho_2= 60$	$H_1= 14$
SEV # 4	Oncena (2 m. del r3o)	$\rho_1=5$; $\rho_2= 90$	$H_1= 4.5$
SEV # 5	Oncena (25 m. del r3o)	$\rho_1=4.8$; $\rho_2=100$	$H_1= 3.9$
SEV # 6	Puente Puny (2 m. del r3o)	$\rho_1=14$; $\rho_2= 6$; $\rho_3= 100$	$H_1= 4$; $H_2= 11$
SEV # 7	Puente Puny (25 m. del r3o)	$\rho_1=20$; $\rho_2= 9.6$; $\rho_3= 300$	$H_1= 2.1$; $H_2= 17$
SEV # 8	Puente Alcoy (2 m. del r3o)	$\rho_1=8.5$; $\rho_2= 3$; $\rho_3= 100$	$H_1= 1.7$; $H_2= 15$
SEV # 9	Puente Alcoy (25 m. del r3o)	$\rho_1=2.4$; $\rho_2= 100$	$H_1= 6$

B.3.4.3. Magnetometria.

Los gr3ficos de magnetometr3a se pueden observar sobre los cortes realizados como resultado del levantamiento geol3gico.

El Campo Magn3tico es tranquilo y sin grandes gradientes; las estructuras tect3nicas se asocian al cauce del r3o y se caracteriza con valores entre (-10 η T y -50 η T), entre las litolog3as presentes el contraste es m3nimo y las intensidades del campo oscilan entre 0 η T y 50 η T (Fig. 10).

B.4. Clima.

Cuba, climatológicamente, está ubicada dentro del sistema de arcos Caribe-Antillano, ocupando aquí una posición fundamental.

El análisis climático muestra como característica más notable en el área un predominio de condiciones tropicales marítimas y la distribución estacional de las lluvias, las cuales influyen de manera decisiva en la formación del clima de la región. Sobre la base de un análisis dinámico (Nuevo Atlas Nacional de Cuba, 1989), se distinguen dos subregiones:

1. Caribe occidental. Con vientos estacionales y calmas, e influencia continental en invierno.
2. Caribe oriental. Caracterizado por alisios relativamente lluviosos, con gran diferenciación en el humedecimiento entre las vertientes de barlovento y sotavento y existencia de pequeñas franjas semidesérticas en las costas meridionales de las Antillas mayores.

Nuestra área de estudio pertenece a la subregión del Caribe occidental. En ella el clima predominante es el de sabanas tropicales, en el cual la influencia estacionaria de las masas de aire árticas y polares continentales es muy marcada en invierno.

La información utilizada se obtuvo del Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1989), así como de dos estaciones pluviométricas cercanas o en el área de las cuencas investigadas.

A continuación, se exponen los principales parámetros climáticos analizados

B.4.1. Radiación solar

En la formación de las características tropicales del clima cubano, es determinante la cantidad de radiación solar que incide sobre su superficie.

Por su ubicación geográfica en el área de estudio la insolación media anual oscila entre 2700-2900 horas/luz, siendo la insolación media diaria 9 horas/luz. Los meses de máxima frecuencia de días despejados son Diciembre, Marzo y Abril.

La radiación solar (global) media anual es de 16.5-17.0 M.J. m⁻²., siendo para la estación mas próxima (Casablanca) a la zona investigada de 16.76 M.J: m⁻².

B.4.2. Temperatura.

El territorio se caracteriza por una temperatura media anual del aire de 24-26° C, con temperaturas medias en invierno de 20-22°C y en verano de 26-28°C, que está en correspondencia con la zonalidad altitudinal del régimen térmico territorial de la Isla.

En este caso corresponde al tipo de llanuras costeras, caracterizado por el predominio de los rangos de temperaturas mínimas y máximas diarias de 20-25°C y 25-30°C, respectivamente.

B.4.3 Precipitaciones.

Las precipitaciones del territorio se distribuyen en dos estaciones del año, existiendo por lo tanto meses con abundantes lluvias y otros con escasez de éstas. El mecanismo de la ciclicidad de la lluvia (períodos de abundancia y de déficit) está relacionado con la influencia de la circulación atmosférica, el carácter de la superficie terrestre y las aguas marinas. Cuando hay centros de bajas presiones sobre el área, con frecuencia ocurren abundantes lluvias. La disminución de las precipitaciones se relaciona principalmente con la presencia de zonas de altas presiones. En la zona la presión promedio en verano es de 1016.0-1016.5 hPa (julio) y la presión promedio en invierno es de 1017.5-1018.0 hPa (enero).

El período lluvioso, por lo tanto, se manifiesta de mayo a octubre, con una precipitación media de 1000 a 1200mm. El período seco abarca de noviembre a abril, con una precipitación media de 200 a 400mm. La precipitación media anual es de 1200-1400mm., siendo el promedio de días con turbonadas de 40-60 días anuales

Por considerarlo de interés ofrecemos los datos de las estaciones pluviométricas de La Virgen del Camino y San Francisco de Paula para una serie de 5 años (1989-1993).

En mm	Período lluvioso		Período seco		Promedio anual	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Estación Virgen del Camino	469.0	1118.2	163.3	406.2	244.9	1791.8
Estación San Francisco de Paula	351.4	923.8	220.6	647.7	989.7	1944.6

En el período de invierno se propagan, de tiempo en tiempo, masas de aire desde el continente americano que causan un tiempo nublado con lluvias. En verano ejerce influencia la zona de alta presión del Atlántico Norte que frecuentemente está relacionado con la aparición de sequías. Al comienzo del verano tiene lugar un cierto debilitamiento en la circulación de los Alisios, un calentamiento intenso de la superficie de la tierra firme y de las capas de aire que se encuentran en la parte occidental y comenzando aquí un período de abundantes lluvias.

Un rasgo característico en la distribución de las precipitaciones es su aumento gradual desde el este hacia el oeste y desde las costas hacia el interior de la tierra firme.

B.4.4 Vientos

Entre las peculiaridades de nuestro clima, al cual no escapa esta porción del territorio estudiada, tenemos importantes eventos meteorológicos como los huracanes, frentes fríos y sures que son los causantes de las velocidades máximas anuales de los vientos.

En cuanto a los vientos, en nuestras condiciones insulares, resulta de mucho interés el régimen local de los mismos, caracterizado por la presencia del cinturón central convectivo y la influencia costera de las brisas.

La orografía es el factor de transformación más importante del régimen normal de los vientos locales, que es del primer cuadrante en la costa Norte u del segundo en la Sur. Es interesante que en la costa norte nordeste en invierno y este noroeste en verano (caso que nos ocupa), la influencia local de la brisa se suma al Alisio y ambos se refuerzan, lo que provoca una penetración mayor en esa costa.

La velocidad media sin calma para enero es de 15,9 km/h y de 13,0 km/h para julio. Las velocidades máximas del viento están asociadas con los frentes fríos, sures, ciclones y huracanes, por lo que es importante brindar algunas estadísticas relativas a estos eventos.

Entre 1785 y 1984, la cantidad de veces que La Habana ha sido azotada por ciclones (por meses) es:

Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
	5	8	10	24
				2

De ellos 8 han sido de gran intensidad y 23 de intensidad moderada. Las intensidades de los restantes son pequeñas.

En general estos ciclones han afectado la cuenca de estudio, provocando inundaciones en la misma a consecuencia de las avenidas, siendo una de las más catastróficas la producida en el año 1982 por el ciclón Frederic.

Por otra parte, la frecuencia mensual de los frentes fríos entre 1916 y 1983, por temporada es:

Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio
6	92	173	222	233	224	202	126	50	2

B.4.5. Evaporación

La evaporación desde la superficie libre del agua, medida en tanques evaporímetros clase "A", muestra los más altos valores (2300mm) en las zonas costeras y en el interior de los valles. Ella disminuye con el ascenso a las montañas

En nuestra zona la evaporación media anual es de 2000-2200mm. Pues ella pertenece al tipo II de llanuras y alturas con humedecimiento estacional relativamente estable, alta evaporación y altas temperaturas.

B.4.6. Humedad relativa

En general los niveles de humedad relativa durante todo el año son altos debido a la influencia marítima de las aguas cálidas del Golfo y el carácter tropical de nuestro clima.

La humedad relativa media anual a las 7 a.m. es de 85-90 % y a las 13 p.m. es de 60-65 %. Durante casi todos los meses del período lluvioso se reportan días con humedad relativa del 100 %.

B.4.7 Factores modificadores del clima

En el área de estudio la urbanización, acompañada por la tala de la cobertura boscosa, incide en el aumento de la sequedad del suelo y con ello la elevación de la amplitud térmica diurna y anual. Es bien conocido que esta cobertura boscosa defiende el terreno contra la erosión, regula el régimen de agua, limpia el aire de polvo y de gas carbónico y crea condiciones favorables para la cría de fauna útil.

Otro elemento que contribuye a modificar el clima es la creación de embalses, los cuales originan cambios en la dirección del viento y en las características térmicas superficiales.

B.5. Aguas superficiales y subterráneas.

El río Luyanó, que desemboca en la bahía de La Habana en la ensenada de Guasabacoa, ha sido y es utilizado como receptor de las aguas residuales producidas por las zonas urbanas - industriales de los municipios de San Miguel del Padrón, 10 de Octubre, Arroyo Naranjo y Regla principalmente. Esta situación ha determinado la existencia de pésimas condiciones higiénico – sanitarias y ambientales en casi toda la red hidrográfica del río.

El deterioro de la calidad original de las aguas provocado por los vertimientos, sistemáticos e indiscriminados, de desechos líquidos y sólidos en esta corriente superficial, es una manifestación de la irresponsabilidad y la ausencia total de medidas de control disciplinarias y de preservación de ese recurso hídrico.

Es inobjetable por tanto que el río Luyanó incide negativamente en la calidad y el estado de las aguas de la a bahía, constituyendo una de las principales fuentes de contaminación, aportándole una elevada carga contaminante proveniente de los residuales domésticos, industriales, agropecuarios y mixtos, líquidos y/o sólidos que va recibiendo a todo lo largo de su curso hasta la desembocadura en la bahía.

De acuerdo con investigaciones realizadas en años anteriores, se posee una buena información sobre la identificación y características de los focos contaminantes que vierten sus desechos a este río (ver capítulo de contaminación), donde predomina, grosso modo, la naturaleza orgánica de las aguas residuales.

B.5.1. Aguas superficiales.

Aunque por esta investigación no se contemplaron realizar trabajos hidrológicos, se sabe que el gasto medio anual de este río es de aproximadamente $0,203 \text{ m}^3/\text{seg.}$, y que el volumen de escurrimiento medio anual (W_0) en 1980 ascendió a 6,40 millones de m^3 (Jorge Mario García y otros, 1980), lo cual está muy por encima de la capacidad de escurrimiento de este río e indica la dependencia existente entre los gastos del río, los vertimientos de aguas residuales y el grado de antropización de la cuenca, factor este último fundamental por su contribución a las alteraciones del escurrimiento superficial que debe captar la red hidrográfica del río en cuestión y que se encuentra alterada a su vez por la urbanización.

B.5.1.1. Red de drenaje.

Conforme al plan de acción pre - establecido se realizó el levantamiento de la red fluvial original a partir de hojas cartográficas a escala 1: 10 000 (Fig. 11) sin considerar las afectaciones antrópicas lo que nos permitió conocer:

- Cuáles fueron las principales direcciones del escurrimiento y su configuración.
- Las diferencias entre las densidades del mismo.
- Los fenómenos fluviales asociados a la tectónica.

Todo esto es necesario y se debe tener en cuenta para poder establecer las pocas áreas donde esta red se ha conservado y como ha afectado el urbanismo y la antropización de la cuenca las alteraciones del escurrimiento superficial que debe captar la red hidrográfica del río y que ahora van directamente al río por las calles, canalizaciones, drenaje urbano, etc.

Por lo tanto, el escurrimiento superficial en el área está bien definido y lo forman la cuenca (urbanizada o no) del río Luyanó y sus afluentes que drenan la región de estudio. Esta cuenca tiene una distribución espacial en forma de rectángulo irregular con su lado Noreste y Suroeste bastante recto. La red fluvial en la misma es del tipo dendrítico de corrientes permanentes, temporales y efímeras que, conforme a la clasificación Dicotómica de ordenamiento, llega a alcanzar un sexto orden, a pesar de que duplica en tamaño la de Martín Pérez. Esto puede ser explicado por tener la cuenca del río Luyanó un relieve más enérgico y pendientes más inclinadas aumentando considerablemente las corrientes de primer orden, lo que no favorece el aumento del orden de los afluentes.

El escurrimiento ocurre a través de las corrientes superficiales, incluidas las efímeras. Las de orden inferior tienen su mayor distribución asociada con las áreas más elevadas y su actividad es fundamentalmente erosiva alcanzando su orden mayor (6^{to}) en el curso medio del río. El afluente más importante se ubica en la porción Este del área y los restantes al Suroeste.

La principal fuente de alimentación está vinculada con las aguas pluviales, logrando las corrientes sus mayores avenidas después de ocurridas abundantes precipitaciones. Los efluentes domésticos e industriales tienen un aporte significativo.

A pesar que el territorio de la cuenca se encuentra cortado en todas las direcciones por el escurrimiento de las aguas, la dirección principal del drenaje es Sureste – Noroeste, (Fig. 10) existiendo direcciones secundarias predominantes para las diferentes sub - cuencas (Oeste - Este, Suroeste – Noreste). Algunos de los puntos del muestreo se establecieron en el cierre de estas sub - cuencas, de manera tal que los resultados reflejaran y representaran la calidad de las aguas de ellas y su aporte al río principal.

B.5.1.2. Muestreo:

Teniendo en cuenta estos elementos y en algunos casos los cierres de las sub - cuencas que permitieron la racionalización del muestreo, fueron ubicados 7 puntos de muestreo (Fig. 12) con el objetivo de determinar, fundamentalmente, el estado bacteriológico del agua, comprobar la presencia de los compuestos nitrogenados y fosfatados, así como de metales pesados, indicadores en determinadas concentraciones de contaminación orgánica e inorgánica.

Las muestras fueron tomadas en una campaña, en período de seca (marzo -abril del 99) de tal forma que existieran las máximas concentraciones de la carga contaminante, al existir menos dilución por parte de las precipitaciones. La toma de las muestras se realizó en las corrientes superficiales, aproximadamente a una profundidad media respecto a la superficie, utilizándose frascos plásticos de un litro de capacidad.

La transportación de las muestras al laboratorio se realizó dentro de las primeras 24 horas después de ser tomadas. Su procesamiento se hizo en el menor tiempo posible después de ser recolectadas.

La localización de las muestras se ofrece en el Tabla 4:

Tabla 4. Localización de las muestras de aguas.

N° de muestras.	Coordenadas.	
	X	Y
1	363 050	362 900
2	362 550	361 580
3	365 180	359 400
4	363 700	362 200
5	361 750	364 750
6	361 860	365 750
7	365 600	362 510

Así, las muestras tomadas caracterizaron muy generalmente la carga afluente de cada sub - cuenca al río Luyanó y de éste, a su vez a la bahía de La Habana, por lo que los resultados caracterización y evaluaciones realizadas estarán referidas al lugar de ubicación de las mismas.

Por último, todos los puntos de muestreo estuvieron ubicados fuera de la zona de influencia de la marea por lo que resultaron apropiados para la realización del muestreo.

B.5.1.3. Calidad de las aguas superficiales.

Los cursos superficiales de la cuenca del río Luyanó se ven sometidos constantemente al vertimiento de aguas albañales, industriales y desechos sólidos fundamentalmente domésticos (Foto No 5). Esta situación ha generado graves problemas en la calidad de las aguas al ser alteradas tanto sus propiedades físicas como químicas. La mayor parte de estas corrientes atraviesan áreas urbanas densamente pobladas que durante los periodos de intensas precipitaciones sufren fuertes inundaciones, sobre todo en las zonas cercanas a los cursos y baja de la cuenca.

Esta relación entre las aguas y los habitantes de la cuenca exige un conocimiento adecuado de su calidad, con el objetivo de evitar enfermedades relacionadas con la contaminación.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, debido a que estas corrientes son usadas para evacuar aguas albañales, es su capacidad de auto depuración, la pérdida de esta propiedad limitaría a las corrientes a cumplir con sus funciones, lo que agravaría los problemas higiénicos sanitarios de la cuenca al no poder ser eliminada la contaminación. La disminución paulatina de la capacidad de auto depuración depende en gran medida de la concentración de oxígeno disuelto, asociado a los niveles de consumo (abundantes microorganismos y materia orgánica) y de producción.

B.5.2. Materiales y métodos.

Para el estudio de la contaminación de las aguas superficiales se llevó a cabo un muestreo de las mismas, proponiendo para estas la determinación de los siguientes parámetros: número más probable de microorganismos coliformes, presencia de *E. coli*, conteo total de bacterias mesófilas, demanda química de oxígeno, concentraciones de NH₄, NO₃, NO₂, CN⁻ y PO₄ y los metales arsénico, cadmio, cromo, mercurio, zinc y plomo. Las muestras fueron analizadas en el Departamento de Microbiología y

Bioingeniería perteneciente al Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (análisis bacteriológico y DQO) y en el Departamento de Medio Ambiente del Laboratorio José Isaac del Corral (compuestos nitrogenados, fosfato y metales pesados).

Las muestras fueron procesadas dentro de las 24 h después de recepcionadas, realizándose los análisis siguientes:

Conteo total de bacterias mesófilas.

El recuento de bacterias viables se llevó a cabo mediante siembras en placas Petri por distribución en el sustrato. Como medio nutritivo no selectivo, se utilizó Agar Nutriente, la temperatura de incubación fue de 37 ° C durante 48 h. Las diluciones seriadas se efectuaron en agua peptonada, sembradas en un número total de cuatro, además de la muestra directa y cada una por triplicado. Los resultados del promedio de conteo en placa se expresan en unidades formadoras de colonias/ml (UFC/ml).

Determinación del número más probable de microorganismos coliformes, prueba presuntiva.

La determinación del número más probable (NMP) de microorganismos coliformes se realizó en medio EC, recomendado por el “Standard Methods” para la diferenciación y enumeración de enterobacterias por el método de dilución en tubo, inoculando por triplicado a razón de 10 ml (en medio de doble concentración) 1 y 0.1 ml e incubados por 24 - 48 h a la temperatura de 37 ° C.

El número de microorganismos del grupo coliformes se computó con la combinación de tubos positivos y registrado en términos del NMP, este valor se obtiene a partir de tablas de referencia estándar con un 95 % de confiabilidad. Los resultados fueron comparados con los índices establecidos por la norma cubana para los cuerpos de agua dulce de uso pesquero 93-01-105 (1987).

Prueba confirmativa de la presencia de *Escherichia coli*

A partir de los tubos encontrados positivos en la prueba anterior se procedió a sembrar por estrias en medio Agar ENDO, e incubar durante 24 horas a 37 ° C. El desarrollo de colonias con un brillo metálico estable en este medio demuestra la presencia de *E. coli*.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Fue determinada por el Método del Dicromato, como índice de contaminación con materia orgánica. Los resultados fueron comparados con los índices establecidos por la norma cubana para los cuerpos de agua dulce de uso pesquero 93-01-105 (1987).

Análisis químico (concentraciones de NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , y CN^-).

Las muestras fueron analizadas utilizando el método Espectrofotométrico UV-VIS. Los resultados fueron comparados con los índices establecidos por la norma cubana para los cuerpos de agua dulce de uso pesquero 93-01-105 (1987).

B.5.3. Resultados de los análisis del laboratorio micro biológico.

Conteo total de bacterias mesófilas.

En las muestras analizadas se detectó un número elevado de viables, superior en todos los casos a $300 * 10^4$ UFC/ml, lo que demuestra el alto estado de contaminación de las mismas. Las aguas con un número elevado de viables pueden no ser aprovechables, ya que pudieran contribuir a serios problemas de higiene y epidemiológicos.

Prueba estándar de coliformes totales.

Con relación a la prueba presuntiva NMP (número más probable de microorganismos coliformes), llevada a cabo por la técnica de fermentación en tubos Durhan, se observó en el total de las diluciones y muestras ensayadas, la formación de gas dentro de las 24 horas, la cual constituye un test presuntivo, teniendo en cuenta que el contenido de lactosa presente en el medio utilizado (caldo EC), favorece a las bacterias lactosa positivo dentro de las que se encuentran las del grupo coliformes y E. coli.

Detección de la presencia de E. coli.

Como examen concluyente de la presencia de E. coli. se realizó la siembra en ENDO, medio selectivo para este grupo de microorganismos, encontrándose que todas las muestras analizadas dieron positivas, al observarse la presencia de colonias rojizas con brillo metálico.

Prueba confirmativa de la presencia de Salmonella y Shigela.

Debido a la gran contaminación que presentaron todas las muestras se procedió a la siembra de las mismas por estrias en medio SS, e incubarlo durante las 24 horas a 37 °C. La presencia de colonias transparentes sin color, demuestra la presencia de Salmonella y Shigela.

Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Los valores de DQO en los puntos 2, 3, 4 y 7 están por debajo de los indicadores que establece la norma para que el agua sea considerada como de buena calidad (15 mg/l), el punto 6 muestra un valor considerablemente alto correspondiente a aguas de mala calidad según la norma (mayor que 30 mg/l). En el caso de los puntos 1 y 5 por accidentes en el laboratorio no fue posible realizar las determinaciones de D.Q.O.

Los resultados de los análisis microbiológicos y de DQO se señalan en la tabla 5.

Tabla 5 - Resultados obtenidos del análisis microbiológico y DQO.

Punto	Cuento (UFC/ml)	Form. gas			NMP por 100ml	Presencia de E. coli	D.Q.O. (mg/l)
		10	1	0.1			
1	>300 * 10 ⁴	3/3	3/3	3/3	>=2400	+	*
2	>300 * 10 ⁴	3/3	3/3	3/3	>=2400	+	0
3	>300 * 10 ⁴	3/3	3/3	3/3	>=2400	+	0
4	>300 * 10 ⁴	3/3	3/3	3/3	>=2400	+	7,58
5	>300 * 10 ⁴	3/3	3/3	3/3	>=2400	+	*
6	>300 * 10 ⁴	3/3	3/3	3/3	>=2400	+	238
7	>300 * 10 ⁴	3/3	3/3	3/3	>=2400	+	7,58

Concentraciones de NH₄⁺ NO₃⁻ NO₂⁻ PO₄³⁻ y Metales Pesados.

Los resultados del análisis químico en todo el punto son bastante bajos, con excepción de los valores de nitrato en los puntos 5 y 6, como se observa en la tabla 6.

Tabla 6 - Resultados del análisis químico.

Punto de muestreo	mg.l ⁻¹										
	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	CN ⁻	PO ₄ ³⁻	As	<u>Cd</u>	<u>Cr</u>	<u>Hg</u>	Zn	<u>Pb</u>
1	< 0,03	< 10	< 0,25	< 0,03	< 0,50	<0,080	<0,005	<0,020	<0,020	0,283	<0,10
2	< 0,03	< 10	< 0,25	< 0,03	< 0,50	<0,080	<0,005	<0,020	<0,020	0,021	<0,10
3	< 0,03	< 10	< 0,25	< 0,03	< 0,50	<0,080	<0,005	<0,020	<0,020	0,016	<0,10
4	0,04	< 10	< 0,25	< 0,03	< 0,50	<0,080	<0,005	<0,020	<0,020	0,020	<0,10
5	12,43	< 10	< 0,25	< 0,03	6,10	<0,080	<0,005	<0,020	<0,020	0,028	<0,10
6	15,54	< 10	< 0,25	< 0,03	< 0,50	<0,080	<0,005	<0,020	<0,020	0,022	<0,10
7	< 0,03	12	< 0,25	< 0,03	< 0,50	<0,080	<0,005	<0,020	<0,020	0,023	<0,10

Debido a que los resultados del laboratorio (Tabla 5 y 6) mostraron bajas concentraciones de compuestos nitrogenados en la mayoría de los puntos, fue necesario tomar nuevas muestras y analizarlas directamente en el campo; (tabla 7) la inestabilidad de estos compuestos bajo determinadas condiciones pudo alterar los resultados.

Tabla 7. Determinaciones “in situ”

Punto de muestreo	mg.l ⁻¹		NH ₄ ⁺
	NO ₂	NO ₃ ⁻	
1	>> 0,4	E/ 25 y 50 próximo a 25	2
2	1	E/ 25 y 50 próximo a 25	E/ 3 y 5 próximo a 5
4	> 0,16	E/ 25 y 50 próximo a 25	E/ 1,6 y 2
6	1,2	E/ 25 y 50 próximo a 25	E/ 5 y 8

A pesar de que las muestras fueron tomadas y analizadas después de fuertes aguaceros, los resultados obtenidos en los cuatro puntos muestreados (se correspondieron con los puntos de tomas de agua) mostraron elevadas concentraciones, estos valores en los cuatro casos están dentro del rango que establece la norma para que el agua sea considerada como de dudosa calidad (1-3 mg/l de NH₄⁺, 10-80 mg/l de NO₃⁻, 0,1- 3 mg/l de NO₂⁻)

Como podemos ver en todos los casos predominan las formas oxidadas a pesar del volumen y constante de los vertimientos, lo que nos hace pensar, que las corrientes tienen buena capacidad de auto depuración, por lo tanto, lo que más nos preocupa si tenemos en cuenta los resultados obtenidos es la contaminación bacteriológica debido a la relación existente entre estas y los habitantes de la cuenca.

B.5.4. Aguas Subterráneas.

La cuenca del río Luyanó está ubicada sobre el complejo poco acuífero desarrollado en las rocas fisuradas del Paleógeno y Cretácico. La profundidad del agua subterránea en el área está entre los 2,5 y 3 metros y siempre en relación con elementos tectónico regionales y morfoestructurales. En general los gastos específicos son del orden de 1-5 l/s, aunque localmente pueden ser mayores. Estas aguas son hidrocarbonatadas cálcicas y cálcicas sódicas con mineralización de 0,5 a 1 mg/l. (Rocamora y Guerra, 1997).

Durante las investigaciones no se observaron pozos criollos u otras calas o perforaciones de donde se pudieran tomar muestras de estas aguas.

B.6. Contaminación Ambiental de la Cuenca del Río Luyanó.

La cuenca del río Luyanó abarca un área de 28.5 Km², se extiende por los municipios capitalinos de Arroyo Naranjo, San Miguel del Padrón, Diez de octubre, Habana Vieja y Regla, dentro de los mismos encontramos diferentes focos contaminantes (Tabla 8) y núcleos urbanos que vierten sus residuales domésticos e industriales al río. Este río es uno de los receptores de aguas residuales de la Ciudad de La Habana. En estudios realizados con anterioridad se plantea que es la corriente superficial que aporta mayor carga hidráulica (71 970 m³/día) producto del elevado grado de urbanización de la cuenca, lo cual ha modificado su escurrimiento superficial y de contaminantes a la bahía de la Habana (Jorge M. García y otros, 1980), por los trabajos actuales se puede plantear que también es utilizado prácticamente como vertedero donde son depositados todo tipo de residuales, lo que incrementa la contaminación existente y las deplorables condiciones higiénico – sanitarias y ambientales. Para llevar a cabo este estudio se realizaron diferentes métodos de trabajo como recorridos de campo, levantamiento de las fuentes contaminantes y muestreos de sedimentos de fondo.

B.6.1. Levantamiento de las principales Fuentes Contaminantes (Fig. 12).

Dentro de la cuenca existen 12 fuentes contaminantes de mayor importancia, lo cual no indica que no existan otras que también en menor cuantía incrementan la contaminación del río.

Tabla No 8. Principales fuentes de contaminación.

<u>No</u>	Fuentes Contaminantes	Dirección	Tipo de Residual	Tipo de Contaminación
1	Combinado Cárnico “Antonio Maceo”	Lawton.	Sangre, desperdicios, desinfectantes.	Orgánica e Inorgánica
2	Fábrica de Siphorex “Camilo Cienfuegos”	Calle Mayor, S M del Padrón.	Sosa caustica, polvo de Al, cemento, arena sílice, yeso, cal, azucares, hidrocarburos.	Inorgánica
3	Fca de detergente líquido “La Estrella”	Lawton.	Sustancias químicas y desinfectantes.	Inorgánica
4	Empresa carga por camiones.	Vía Blanca y línea de ferrocarril.	Desinfectantes y otros ácidos.	Inorgánica
5	Planta “Andrés Luján”	Vía Blanca y línea del ferrocarril.	Sustancias químicas como sosa cáustica, cromo y ácido clorhídrico.	Inorgánica
6	Constructora Motores Taíno	Vía Blanca, ILnea del ferrocarril y paso superior.	Aceites y lubricantes.	Inorgánica
7	Envases metálicos “Luis Melian”	Calle Mayor, S M del Padrón.	Polvo de Al.	Inorgánica
8	Fábrica de levadura “Héroes de Bolivia”	Ave Dolores y Línea del ferrocarril.	Ácido sulfúrico, aceites, mieles, fosfato	Inorgánica

9	Matadero Jesús Menéndez"	Km 91/2 de la carretera del Lucero.	de amonio y urea. Sangre, pelos, grasas, piel, heces fecales, albúminas, hipoclorito de sodio, H ₂ SO ₄ .	Orgánica e Inorgánica
10	Pasteurizadora "El Lucero"	Carretera del Lucero.	Grasa, sosa cáustica, ácido fosfórico.	Orgánica e Inorgánica
11	ICIDCA	Carret. De Via Blanca	Grasa, Sosa Causica y diferentes elemementos químicos.	Orgánicas e Inorgánicas
12	Fundición Sergio González	Virgén del Camino, S.M 12 Padrón.	Aluminio y bronce.	Inorgánica
13	Fundición Pepe Prieto	Virgén del Camino, SM del Padrón.	Aluminio y bronce.	Inorgánica

A continuación, hacemos una breve descripción de las fuentes contaminantes.

Combinado Cárnico "Antonio Maceo".

En el mismo son sacrificadas reses y se reciben cerdos ya sacrificados, por lo cual existe derrame de sangre, producto del lavado de la carne. En el centro existen trampas de grasa y sólidos, las cuales son extraídas diariamente para evitar tupiciones. Las heces fecales se recogen en una fosa maura, se les suministra agua que luego pasa a ser desperdicio y va hacia el alcantarillado.

Para la limpieza son utilizados desinfectantes como el cloro y otros químicos. Existe una tubería que recorre todo el combinado recogiendo los residuales que al final se vierten en el río.

Coordenadas: X- 361 890

Y- 363 670

Fábrica de Siphorex "Camilo Cienfuegos"

Dentro del proceso tecnológico se utilizan productos químicos como son la sosa cáustica, polvo de aluminio, además de cemento, arena sílice, yeso, cal y en poca cantidad azucares.

Después de un largo proceso, la última fase es la decantación, donde existe una zanja que recoge estos residuales y los vierte directamente al río. Existe una caldera que utiliza petróleo que también vierte a la zanja.

Existen trampas de grasa que funcionan, pero no son limpiadas con frecuencia, por lo cual en tiempo de lluvias se producen inundaciones, provocando la subida del hidrocarburo y vertimiento de aguas albañales, afectando a la población cercana, la fábrica y al río como receptor de estos contaminantes.

Coordenadas: X- 362 250

Y- 363 790

Fábrica de Detergente Líquido "La Estrella".

Antigua fábrica de pinturas. Los residuales van al río, pasando antes por una fosa trampa. En la misma se utilizan sustancias químicas y desinfectantes. En estos momentos se encuentra en reparación.

Coordenadas: X- 361 950

Y- 363 740

Empresa Carga por Camiones.

Presenta un canal que bordea toda la base y que vierte directamente al río el escurrimiento producto de la limpieza como son desinfectantes y ácidos.

Coordenadas: X- 362 380

Y- 364 810

Planta “Andrés Luján”.

Se reparan piezas y equipos de la construcción. Una parte del centro está instalada a la red de alcantarillados y la otra presenta tuberías que vierten directamente al río.

Presenta diferentes tipos de talleres como son el de motores y el de cromado, los mismos tienen trampas de grasa, pero no funcionan, en los mismos se utilizan sosa cáustica, cromo y ácido clorhídrico, estas sustancias no son neutralizadas y son vertidas al río.

Coordenadas: X- 361 970

Y- 364 770

Constructora Motores Taíno.

Antigua Fábrica Automotriz Amistad Cubano Soviética. Una parte del centro está instalada a la red de alcantarillados.

Los residuales de los diferentes talleres (aceites y lubricantes) son recogidos por un aparato llamado chupona, la cual lo vierte en la parte trasera del propio centro y los mismos van por un canal hasta el río.

Existen trampas de grasa, 3 exteriores y 2 interiores, las exteriores vierten en el alcantarillado y las interiores directamente al río. En el centro existe un plan de medidas para el mejoramiento de los residuales, pero no se lleva a cabo.

Coordenadas: X- 361 830

Y- 365 000

Envases Metálicos “Luis Melian”.

Los residuales industriales (polvo de aluminio y otros) incluyendo el agua del fregado de las máquinas va a un desagüe que vierte directamente al río.

Coordenadas: X- 362 320

Y- 363 900

Fundición “Sergio González”.

Se funden metales no ferrosos (aluminio y bronce). Están instalados a la red de alcantarillados que vierte en el río y hacia allá van sus residuales industriales.

Coordenadas: X- 362 850

Y- 364 430

Fábrica de levadura “Héroes de Bolivia” .

En el proceso industrial de la preparación de la levadura se utiliza ácido sulfúrico, aceites, mieles, fosfato de Amonio y urea. Estos afluentes llegan al río y luego a la bahía a través del alcantarillado.

Coordenadas: X- 363 300

Y- 362 000

Matadero “Jesús Menéndez”.

Entre los residuales que se vierten encontramos sangre, pelos, grasas, residuos de piel, heces fecales, albúminas, así como hipoclorito de sodio, H_2SO_4 , etc. Estos residuales pasan a una laguna de oxidación que por su estado deficiente permite la contaminación del arroyo Mamoncillo y por ende al río.

Coordenadas: X- 362 950 Y- 361 500

Fundición “Pepe Prieto”.

Fundición de aluminio y bronce. Están instalados a la red de alcantarillados que vierte al río, por lo que sus residuales van al mismo.

Coordenadas: X- 362 760

Y- 364 220

Pasturizadora “El Lucero”.

En estos momentos no se encuentra funcionando, pero de reiniciar su producción alimenticia existirán vertimientos de grasa, sosa cáustica y ácido fosfórico que van hacia un tanque séptico con trampas de grasas que vierten a una zanja y de ahí al río.

Coordenadas: X- 362 960

Y- 361 250

Además de estas fuentes contaminantes existen numerosas descargas de sus afluentes, Río Hondo, Arroyo Guachinango, Arroyo Mamoncillo, Río Lawton y Arroyo Pastrana.

En la actualidad existen centros que eran considerados como fuentes contaminantes y en estos momentos no lo son, ya sea por su desaparición o por cambios en sus tecnologías o procesos como son : Matadero Virgen del Camino, Fábrica de toalla Antex, Destilería Habana y otros.

Esto significaría una disminución de la carga contaminante del río si no se hubiesen incrementado los vertederos y núcleos poblacionales que vierten directamente sus residuales al río, como ocurre con el Arroyo Pastrana, antes ya contaminado y ahora super contaminado, donde sus aguas no corren.

Siguiendo el curso del río se observan muchos vertederos espontáneos, salidas de alcantarillados y tuberías de desagüe de aguas albañales, los cuales aumentan diariamente. Toda esta acumulación de basuras y desperdicios son transportados a través de todo el río hacia la bahía en tiempos de intensas lluvias, provocando inundaciones, surgimiento de focos de vectores, además de la afectación a la fauna y flora correspondiente al río y su entorno.

B.6.2 Muestreo y análisis de sedimentos.

El muestreo realizado consistió en la toma de muestras de sedimentos de fondo que como se conoce son los materiales sólidos que se forman y se depositan en el fondo de los objetos hídricos como resultado de procesos físico- químicos y bioquímicos que ocurren en las sustancias y que son de origen natural o tecnógeno.

Se tomaron 7 muestras (Fig 12), a una profundidad de 30 a 50 cm del lecho del río, en sitios de vertimiento de residuales, salida de alcantarillados, confluencia con afluentes y los propios

afluentes, ya que son los puntos de mayores concentraciones de metales pesados vertidos por las fuentes contaminantes. Fueron envasadas en nylon y llevadas al laboratorio “José Isaac del Corral” (LACEMI), donde se realizaron 7 determinaciones (Cd, Co, Mn, Ni, Pb, Zn, Fe), mediante el método de secado a 60° C, disgregado y tamizado a 180 micras. Los resultados de estos análisis se ofrecen en la tabla 9.

Tabla 9. Comportamiento de las concentraciones, según los análisis realizados.

No de Muestras	G/T						%
	Cd	Co	Mn	Ni	Pb	Zn	
S-1	6	12	603	54	228	226	1.64
S-2	7	14	745	45	74	281	2.90
S-3	6	21	1826	37	< 5	84	3.12
S-4	6	30	2663	52	< 5	116	4.82
S-5	7	27	1058	82	90	240	3.94
S-6	9	22	1106	115	1034	731	4.00
S-7	8	29	1650	65	75	184	3.63

Como se puede observar las concentraciones son altas, especialmente la de los elementos de Mn y Zn, lo cual no resta importancia a los demás elementos presentes. Por tal motivo los sedimentos que llegan a la bahía además de materia orgánica, están contaminados por elementos pesados.

B.7 Vegetación.

El levantamiento de la información relacionada con la vegetación de la cuenca se realizó mediante la combinación de la interpretación de fotos aéreas (Vuelo Soviético 1:26 000, 1972) y las correspondientes observaciones de comprobación de campo, lo que permitió la confección de un mapa a escala 1:10 000 (Fig. 13), para el cual se empleó la clasificación por Formaciones Vegetales según Capote y Berazaín (1984).

En el área de la cuenca se encuentran diferentes Formaciones Vegetales caracterizadas por presentar un alto grado de alteración, condicionado por los distintos niveles de asimilación antrópica a que ha sido sometido este territorio, por lo que abundan las especies ruderales, así como algunas introducidas por su valor de uso, como lo es el caso de las plantaciones frutales. También existen numerosas áreas dedicadas al cultivo de especies de ciclo de vida corto.

Las Formaciones Vegetales presentes son:

B.7.1 Formaciones arbóreas.

Bosques secundarios.

Se encuentran en muy pocos sitios de la cuenca y los que hay, se corresponden, en la mayoría de los casos, con plantaciones.

Bosques de galería.

Se manifiestan en los bordes de algunas partes del río, estando formada por una vegetación Arbórea con altura de más de 5m. Se encontraron entre sus componentes a *Pisonia aculeata*, *Guasuma ulmifolia*

(Guásima), Ceibas e individuos de *Roystonea regia* (Palma real). Es de destacar que ésta vegetación se acompaña de vegetación arbustiva y herbácea, pero que la misma además queda interrumpida en grandes tramos, dejando sin protección a las márgenes del río y de sus afluentes.

Plantaciones.

Aparecen en diferentes lugares del área y están constituidas por mangales que aparecen con una composición monoespecífica. Aparecen también sembrados de *Tectonis grandis*, *Leucaenaleucocephala*, y *Callophyllum antillanum* entre otras, las cuales pueden aparecer con una composición monoespecífica o con otras especies, algunas de las cuales han llegado a estos sitios de forma espontánea y/o antrópica. Es de destacar que en muchas de las áreas se encuentran individuos de especies tales como *Casuarina equisetifolia* (Casuarina), el Flamboyán, *Cocosnucifera* (Coco), *Psidium guajava* y otras.

B.7.2. Formaciones arbustosas.

Matorrales secundarios.

Están caracterizados por una altura que no sobrepasa los 2,0 m., con la presencia de especies ruderales e invasoras. Entre las especies que lo integran se puede mencionar a *Dichros-tachys cinerea* (Marabú)

y *Acacia farnesiana* (Aroma). Otras especies representadas son la *Lantana cantara* y *Lantana trifolia* que constituyen elementos relictuales de la vegetación original.

B.7.3. Comunidades herbáceas.

Complejo de sabanas antrópicas y pastizales.

Son las Formaciones más abundantes en el área de estudio y forman un complejo constituido por comunidades con diferentes estados de desarrollo. Algunas de ellas han sido descritas en estudios cinecológicos; en sentido general se caracterizan por alturas de hasta 1,5.m y presentan como especies principales a: *Panicum maximum*, *Viguiera dentata*, *Solanum torvum*, *Corchorus siliquosus*, *Ricinus officinalis*, *Bidens pilosa*, *Commelina erecta*, *Euphorbia heterophylla*, *Rinchosia mínima*, etc.

Dentro del área de la cuenca se encuentran algunas zonas bajas donde aparecen herbazales Inundados, donde se presentan abundantes *Typha dominguensis* (Macío), los cuales se establecen de forma monoespecífica, constituyendo parches ubicados en pequeños sitios.

B.7.4. Vegetación cultural.

Cultivos varios.

Se encuentran ubicadas tanto en zonas aledañas a las márgenes del río como diseminadas por toda el área de la cuenca. Entre los cultivos observados se encuentran: *Musa paradisiaca* (plátano), *Zea maíz* (maíz), *Ipomoea batata* (boniato), Yuca, Ají así como cultivos de flores y plantas ornamentales.

Vegetación ruderal.

Es la asociada a las zonas urbanizadas. Es la existente en parques, jardines, patios, aceras de calles, etc.

B.8. Uso y Ocupación

Para la confección del mapa de uso y ocupación del área de la cuenca del río Luyanó (28,42 Km²) se utilizaron los datos de iguales trabajos realizados anteriormente en los municipios de San Miguel del Padrón y Arroyo Naranjo, los cuales además fueron actualizados mediante la fotointerpretación de imágenes aéreas, el análisis de las hojas topográficas a escala 1:10 000 y varios recorridos de comprobación por las áreas de interés de dichos municipios y del de 10 de Octubre.

Como resultado se separaron 14 clases de uso y ocupación (Fig. 14):

Áreas urbanas. Están consideradas como tales las áreas residenciales urbanas con toda su infraestructura de viales, comercios, parques, etc., las cuales ocupan el 41,09 % del área total, aproximadamente 11,69 Km².

Áreas de cultivos varios. Son fincas y pequeñas parcelas particulares y estatales dedicadas al cultivo de viandas y hortalizas (Foto No 6), ubicadas generalmente en la periferia de las zonas urbanizadas. Ocupan en su conjunto un área de 3,40 Km², para un 11,96 % del total.

Áreas de terrenos baldíos. Se comprenden como tales terrenos ociosos o sin un uso determinado, los cuales se ubican en la periferia de las zonas urbanizadas, carreteras y otras vías de comunicación. Ocupan un área de 2,84 Km², para un 9,99 %.

Áreas Boscosas. En esta clase se incluyen pequeñas arboledas, por lo general plantadas en zonas reforestadas y también vegetación riparia y pequeñas reservas forestales. En total cubren unos 2,30 para el 8,09 % del territorio.

Áreas de plantaciones frutales. Ocupan un área de 2,16 Km² que constituye el 7,60 % de la cuenca y están representadas por pequeñas parcelas sembradas de diferentes frutos de estación, fundamentalmente mango y guayaba y en menor escala café.

Zonas industriales. Son las principales industrias, áreas de almacenes de productos o materiales, talleres de reparaciones y otras instalaciones fabriles ubicadas dentro o en la periferia de las zonas urbanizadas y que ocupan alrededor del 4,87 % del total del territorio en un área de 1,38 Km².

Áreas de uso especial. Áreas reservadas para usos militares o instalaciones del Ministerio del Interior. Ocupan 1,35 Km², para un 4,75 %.

Áreas de servicio. Se incluyen las principales redes de viales, tales como autopistas, carreteras y avenidas, así como vías férreas. Cubren el 3,80 % del territorio, ocupando un área de 1,08 Km².

Áreas suburbanas. Son zonas de suburbios, barrios rurales y de la periferia que generalmente se ubican espaciadamente y cuentan con solares y parcelas, árboles frutales, etc. Cubren un área de 0,78 Km², para un 2,74 %.

Área receptora de efluentes. Están constituidas por los ríos principales y sus valles de inundación. Ocupan el 1,97 % del total del territorio en un área de 0,56 Km².

Áreas de uso social. Aquí se agrupan las instalaciones deportivas, recreativas, de salud y educacionales que ocupan espacios cartografiados a la escala. Estos en total ocupan cerca de 0,46 Km², para un 1,61 % del territorio.

Áreas impactadas por la minería. Se clasifican como tales, aquellos terrenos sirvieron en determinado momento para la extracción de materias primas minerales, fundamentalmente materiales de construcción en canteras y préstamos y que actualmente por lo general se utilizan como basureros y depósitos de escombros y otros usos inapropiados. Ocupan el 1,33 % del territorio en un área de 0,38 Km².

Presas. Existen en el territorio tres pequeños embalses construidos por el represamiento del Río Luyanó y sus afluentes. En total no sobrepasan el 0,45 % ocupando un área de 0,13 Km².

Laguna. Existe en las cercanías de la desembocadura del río, en áreas aledañas a la bahía, una minúscula laguna al parecer natural cuya área es de 0,01 Km², que representa el 0,035% del territorio de la cuenca.

B.9. Estado Actual del Medio Ambiente.

El medio ambiente es un sistema abierto de formación histórica que se expresa espacialmente y evoluciona en el tiempo como resultado de las relaciones que se establecen entre la sociedad y la naturaleza (A. Bucek, 1989)

A partir de esta definición para el estudio y caracterización del medio ambiente es necesario tener en cuenta los procesos de interrelación entre las diferentes unidades funcionales (antrópicas, naturales y semi naturales) que caracterizan el territorio de la cuenca, lo que permite analizar el estado actual del área investigada.

B.9.1. Función y Estabilidad Ecológica de la Cuenca.

A partir del mapa de Uso y Ocupación se confeccionó el mapa de Función de la Cuenca que unido al Coeficiente de la Estabilidad Ecológica, calculado por este último mapa, reflejan el estado actual del medio ambiente de la cuenca.

En el mapa de función se separaron las zonas de función antrópica de las naturales y semi – naturales que en la cuenca del río Luyanó incluyeron las siguientes áreas (Fig. 15)

Antrópicas: áreas de asentamientos urbanos, sub urbanos e insalubres, industriales, de basureros, de uso social, de servicios, de uso especial, impactadas por la minería, cementerios y áreas receptoras de residuales efluentes líquidos y desechos sólidos).

Naturales y Semi – naturales: áreas boscosas, de plantaciones frutales, de cultivos varios y de terrenos baldíos.

B.9.2 Coeficiente de la Estabilidad Ecológica.

Para el cálculo de este coeficiente se midió automatizadamente las áreas de estabilidad relativa (A_e) que se corresponden con las áreas de función natural y semi - natural que, en este caso, en todas se observa la huella del impacto humano y las áreas de inestabilidad ecológica (A_i) que se corresponden con las áreas de función antrópica.

Así, los resultados del cálculo arrojaron que: $A_e = 10,71 \text{ km}^2$

$$A_i = 17,71 \text{ km}^2$$

$$C_e = A_e / A_i \text{ igual } 10,71 \text{ km}^2 / 17,71 \text{ km}^2 = 0,60$$

Este número refleja las condiciones de baja estabilidad ecológica de esta cuenca, estando la misma más afectada que la del río Martín Pérez. No obstante, esto, el área de la cuenca tiene condiciones para mejorar dicho coeficiente, delimitando las zonas que requieren cuidado, protección y desarrollo de las áreas verdes las cuales son de importancia vital pues permiten establecer un esqueleto de estabilidad ecológica que sirve de corredor biológico, así como del establecimiento de biocentros y neutralizador de la erosión. Por lo tanto, pensamos que es completamente factible que las autoridades correspondientes deben luchar en los próximos años por la elevación de este coeficiente a uno, lo que conllevara al mejoramiento indiscutible de las condiciones de la cuenca.

B.10. Entrada y Tratamiento de Datos en Formato Digital.

Como resultado de la presente investigación se generaron un conjunto de informaciones gráficas (mapas a escala 1: 10 000) que fueron convertidas a formato digital a través de la digitalización en el software AUTOCAD-12 con la ayuda del digitalizador Summagraphic MicroGrid v.1.1. Otras informaciones utilizadas en el proceso de investigación, como por ejemplo las curvas de nivel, también se introdujeron de la misma manera.

Después de digitalizados y editados en AUTOCAD, cada uno de los mapas fue salvado en formato DXF y posteriormente introducidos en el programa IDRISI FOR WINDOWS, el cual es compatible con el software CARTA LINX, que ha sido diseñado para la entrada, almacenamiento y creación de datos, siendo también un medio para intercambiar datos entre el IDRISI y otros softwares.

Una vez que el mapa se encontraba dentro del CARTA LINX, se procedió a la identificación de los polígonos existentes, colocando un número de identificador (*Numeric UserID*) que se corresponde con la característica cualitativa del polígono. De la misma manera cada Nodo y Arco que componen los polígonos quedaron identificados con sus respectivos identificadores. Mediante el comando *Topology Report* se comprueba si existen irregularidades en la topología, indicando el elemento que debe ser corregido, facilitando así el trabajo de corrección. Conjuntamente con la identificación de cada tipo de elemento presente, se especifican otros tipos de datos como son: área que ocupa cada polígono, perímetro (ambos son calculados automáticamente) y los atributos no espaciales (introducidos por el operador), quedando de esta forma estructurada la base de datos correlacionable, la cual puede ser

completada con los campos que sean necesarios introducir. Después de realizada la topología y contruidos los polígonos, los archivos vectoriales fueron importados nuevamente para el IDRISI.

Con el objetivo de realizar análisis y comparaciones de datos y atributos espaciales entre las informaciones multitemáticas, fueron convertidos a imágenes raster cada uno de los planos de información existentes mediante los módulos POLYRAS (en caso que fuesen polígonos) y LINERAS (en el caso de líneas), los cuales transforman esos datos vectoriales en imágenes raster. Las imágenes creadas (mediante el comando INITIAL) para cada mapa, fueron construidas siempre con la misma estructura (igual número de líneas y columnas), condición indispensable para realizar operaciones aritméticas entre imágenes. En nuestro caso le fue asignada una resolución de 10 metros por pixel.

Dentro de los objetivos del proyecto estaba la confección, de forma automática, del mapa de pendientes, para lo cual es necesario utilizar lo que ha sido denominado en la literatura como Modelo Numérico de Terreno (MNT) o Modelo Digital de Terreno (MDT). Para la obtención del mismo es necesario primeramente transformar las informaciones brutas (en este caso las cotas) en una red de puntos “*gris*” igualmente espaciados con el valor de la tercera dimensión interpolado.

A partir de la digitalización de las curvas de nivel contenidas en las hojas topográficas a escala 1:10 000, se obtuvo el MNT, del cual se derivó el mapa de pendientes.

Dentro de las opciones que ofrece el módulo *Surface Analysis* del IDRISI, están la determinación de la pendiente y el aspecto (*aspect*). La primera es determinada calculándose el máximo de pendiente alrededor de cada *pixel* en los ejes X e Y, pudiendo los datos ser presentados en grados o porcentos, mientras que la segunda calcula la orientación de la vertiente en cada pixel. De esta manera fue generado el mapa de pendientes en grados para el área de la cuenca. El detalle que ofrece este mapa (las pendientes son dadas en intervalos menores de un grado), no permite delimitar visualmente las áreas con diferentes inclinaciones. Para una mejor visualización e interpretación de los resultados, la imagen fue reclasificada (módulo RECLASS) en seis intervalos de pendientes.

Una de las técnicas de geoprociamiento utilizada consistió en el cruzamiento (*overlay*) de mapas diferentes, en los cuales a las áreas de interés se le asigna valor uno (1) y las áreas sin interés valor cero (0). El resultado es un mapa donde las áreas de interés de los mapas de entrada tienen valor uno (1) y las áreas sin interés valor cero (0).

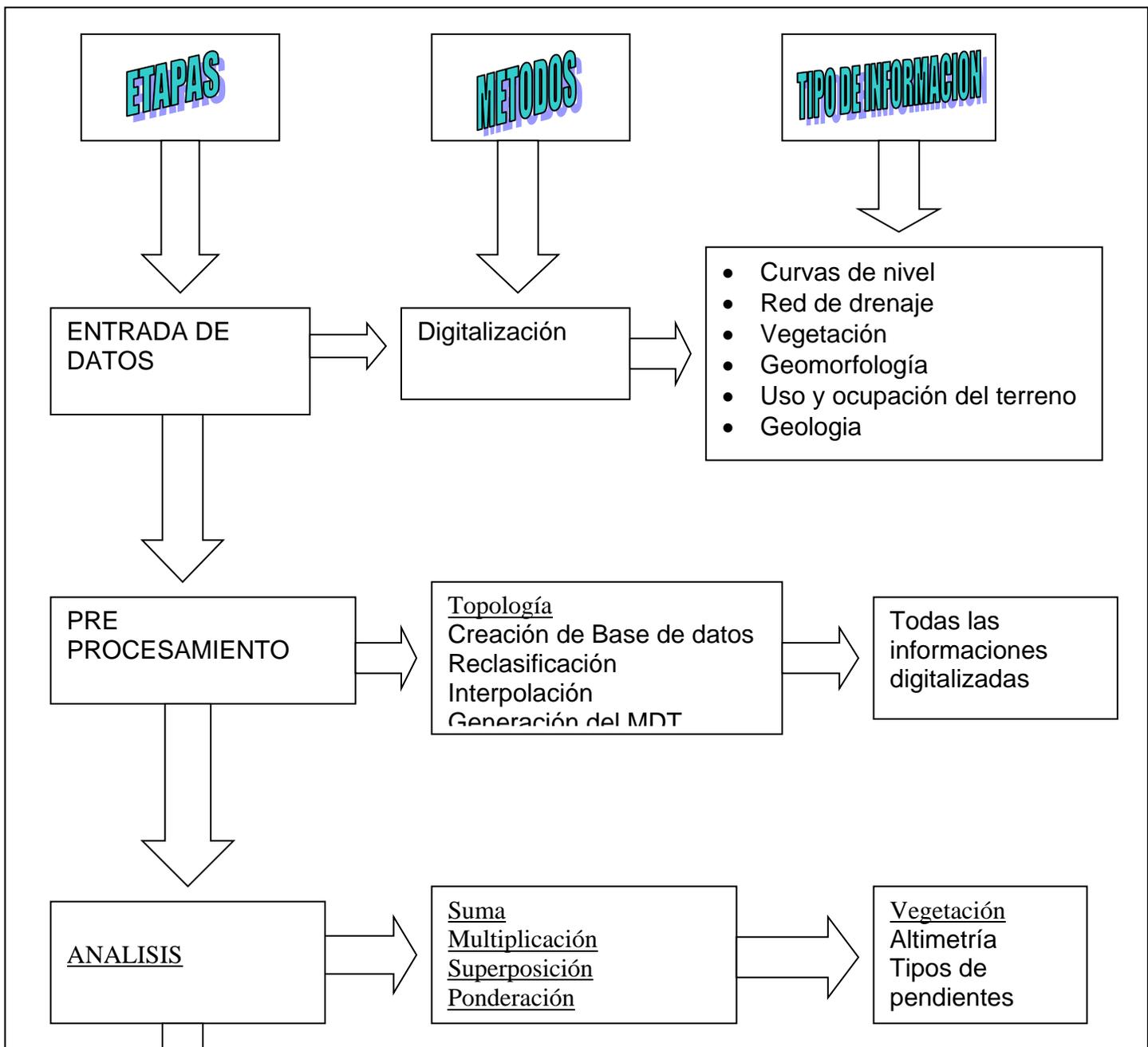
Otro proceso utilizado fue el ponderado, en el cual se atribuyen **pesos** a los diferentes factores que están siendo analizados, de acuerdo a la importancia que tengan en el fenómeno procurado. Este procedimiento fue aplicado para la obtención del mapa de susceptibilidad a la erosión, utilizando para

ello los mapas de pendiente, vegetación y la altimetría, proceso que es explicado con detalle en el epígrafe B.2.4.

Todos los archivos vectoriales primarios (que conservan íntegramente la precisión de los datos, conforme fueron entrados) se encuentran en formato DXF, compatibles con la mayoría de los softwares utilizados actualmente y los archivos *raster* están en formatos compatibles también con muchos Sistemas de Información Georreferenciadas (SIGs).

Para una mayor comprensión de todo lo antes señalado, se consideró prudente la confección de un Diagrama de Flujo, el cual es presentado a continuación:

Diagrama de flujo.



B.10. Plan de Medidas para la mitigación de los problemas ambientales de la cuenca del río Luyanó.

La solución de los principales problemas ambientales de la cuenca del río Martín Pérez debe ser visto con un enfoque sistémico e integrador y no como solución aislada de los enunciados en el presente informe, pues ellos se concatenan en sus consecuencias y efectos sobre el ser humano.

Dada esta realidad, resulta imprescindible señalar aquellos aspectos que son necesario acometer, en un plan de medidas de carácter general, para minimizarlos y darles solución a corto, mediano y largo plazo con la finalidad de proteger los medios receptores (río y bahía) de las aguas y sedimentos residuales y la mitigación de los problemas ambientales de la cuenca hidrográfica para la eliminación de cualquier efecto dañino, tanto para el hombre como para sus recursos naturales.

Dado que la gestión de los recursos debe inscribirse en el ámbito de la cuenca natural más que en de las fronteras políticas y administrativas.

Teniendo en cuenta que la cuenca está compartida entre varios municipios capitalinos, pero que posee problemas comunes que requieren de una verdadera cooperación inter municipal.

Considerando, que tanto la cuenca como las aguas del río son un Bien Público cuya gestión integral debe realizarla la administración del Poder Popular, se recomiendan las siguientes medidas a tomar:

1. Crear una Comisión para la Gestión y el Manejo Ambiental de la Cuenca a nivel inter municipal.
2. Confección de un plan o programa de saneamiento de los vertidos en el área de la cuenca hidrográfica.
3. Priorizar la recogida de basura urbana en las zonas de los núcleos poblacionales situados en la cuenca, para evitar el vertimiento espontaneo al río de los desechos sólidos domésticos por parte de la población.
4. Garantizar que las aguas residuales urbanas e industriales, que vierten al sistema colector río Luyanó, antes de ser lanzadas al mismo, sean objeto de tratamiento primario (físico o químico) y secundario (/biológico) mediante el establecimiento de las plantas de tratamiento correspondiente.
5. Caracterizar y monitorear los efluentes industriales de cada entidad o empresa ubicada en la cuenca, para que cada una asuma el sistema de tratamiento adecuado de sus descargas al río de cualquier tipo de sustancia susceptibles de provocar contaminación.
6. Establecer un sistema de monitoreo de las aguas del río, que permita realizar una vigilancia efectiva del mismo, así como establecer los parámetros de trabajo de las plantas de tratamientos.
7. Las empresas y entidades individuales de los diferentes organismos ubicadas dentro de la cuenca deberán contar con un sistema de gestión ambiental que permita la evaluación y control sistemático de sus aspectos ambientales.
8. Establecer en las entidades y empresas ubicadas dentro de la cuenca las auditorías ambientales con el objetivo de determinar si el sistema de gestión propuesto se cumple.
9. Recuperar y rehabilitar las áreas degradadas por las diferentes actividades económicas hasta la actualidad.

10. El dragado que periódicamente se realiza en las proximidades de la desembocadura de este río, alteran considerablemente los procesos erosivos – acumulativos, generando una reactivación de los mismos en el área de la cuenca, en particular en los territorios más susceptibles. (la dirección de este trabajo debe ser realizado por las entidades competentes).
11. Realizar la reforestación para los diferentes ecosistemas especialmente en las márgenes del río que incluya el establecimiento de variedades adaptables a los mismos y el enriquecimiento de la diversidad en la flora forestal, con vista a la neutralización de los procesos erosivos.
12. Confeccionar un programa de información y educación ambiental dirigido a los núcleos poblacionales y comunidades que habitan la cuenca.
13. Promoción y desarrollo de la gestión ambiental comunitaria que incluya la participación popular en la ejecución de acciones de mejoramiento ambiental.
14. Realizar por personal especializado el estudio del medio ambiente socio – económico del área de la cuenca.
15. Analizar la posibilidad de establecer la aplicación del impuesto al vertido a un bien Público de residuales.
16. Creación de un tipo de vigilante ambiental que vele por el cumplimiento de todas las medidas que sean dictadas por los organismos competentes para la protección de los ecosistemas fluviales y otros que se consideren de interés.
17. Aplicar medidas de conservación del suelo en todas las áreas dedicadas a cultivos con o sin medidas de laboreo.
18. Tomar medidas para evitar el crecimiento de cárcavas (reforestación, empalizadas de contención, etc.)
19. Los procesos erosivos – acumulativos, en particular el primero puede ser reducidos o minimizados a partir de la aplicación de medidas en las FPA, en especial áreas de cultivos.
20. Tener en cuenta las características estructurales y geotécnicas estudiadas de las rocas a la hora de construir taludes artificiales para evitar derrumbes y deslizamientos y otros tipos de construcciones.

VALORACION ECONOMICA

Comportamiento de los costos (U.M: pesos)

Denominación de los trabajos	Costos proyectados	Costo normativo real	Costos reales (por contabilidad) hasta Agosto del 99
Precio presupuestario	59 581.86	59 581.86	18 254.86
Costo presupuestario	50 129.66	51 942.10	
Costos propios	40 068.66	44 338.04	
Costos directos	20 339.42	22 506.62	15 900.52
- Geología	18 356.25	20 523.45	
De ello:			
Proyecto	657.87	657.87	
Informe	2 456.48	2 656.65	
- Geofísica	1 983.17	1 983.17	
Costos indirectos	19 729.24	21 831.42	2 354.34
Costos acompañantes	10 061.00	7 604.06	
Ganancia normada	9 452.20	7 369.76	

Bibliografía.

Albear, J. F. de, M. Iturralde-Vinent, G. Carassou, M.A. Mayo, L.L. Peñalver 1977. *Yacimientos Minerales. En: Memoria Explicativa del Mapa Geológico a Escala 1:250 000 de las Provincias de la Habana.* Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, Ciudad de La Habana, (inédito), pp351-440.

Albear, J.F. de, M. Iturralde-Vinent, 1985. *Estratigrafía de las Provincias de La Habana.* En: *Contribución a la Geología de las Provincias de La Habana y Ciudad de La Habana*, Editorial Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, pp 12-54.

Alonso, A. Y Garzón, G., 1997. *Efectos sedimentarios de un río fuertemente antropizado: El Jarama, Madrid.* Cuaderno Geología Ibérica, 22, pp 240-265.

Barrientos, A., R. Carral, S. Gil, R. Pérez, R. Stout, J. Triff, N. Ponce, R. Rivada, M. García, V. Strazhevich, A. Castellanos, J.L. Díaz, A. González, J. A. Bastar, R. Del Busto, A. Méndez., 1998. *Estudio Integral Geólogo-Ambiental del Municipio Boyeros.* Ciudad de la Habana. Instituto de Geología y Paleontología, 104 p.

Bronnimann, P., D. Rigassi, 1963. *Contribution to the Geology and Paleontology of the Area of the City of La Habana, Cuba, and its surroundings.* Eclogae Geol. Helvetiae, 56 (1),. pp. 1-480

Bucek A Aseguramiento Territorial de la Estabilidad Ecológica y sus condiciones en Cuba. Editorial Academia. 1989.

Busquet E., Casas E., Pintó B. et al. Técnica no destructiva para el reconocimiento de zonas contaminadas por vertidos. *Geofísica Ambiental Facultad de Geología, Universidad de Barcelona.* España 1996. pp73-82

Cañete, Pérez C, Seoane N. Ponce, Díaz Comesañas J. et al. *Estudio Integral Geólogo Ambiental del municipio San Miguel del Padrón.* Instituto de Geología y Paleontología 1994. 26 p.

Cañete Pérez C, Seoane N. Ponce, Díaz Comesañas J. et al. *Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Guanabacoa.* Instituto de Geología y Paleontología 1997.

Cardona O. *Gestión Ambiental para la Prevención.* Agid Report n°88, 1982.pp 75-87

Correa G., Gil S., Pérez R. Et al. *Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Arroyo Naranjo.* Instituto de Geología y Paleontología 1998.

Franco, G. L. *et al*, 1991. *Léxico Estratigráfico de Cuba.* IGP-MINBAS, Ciudad de La Habana.

García J. M., Travieso H., Abreu O. Et al. *Evaluación de la carga contaminante afluente a la bahía de La Habana, aportada por los ríos Luyanó, Martín Pérez y arroyo Tadeo.* Voluntad Hidráulica 1980. pp34-58

- Garzón, G. Y Alonso, A., 1996. *El río Guardarrama, morfología y sedimentación actual en un cauce arenoso tipo braided*. Cuaderno Geología Ibérica, 21, pp 346-369.
- Gil S., Castellano A., Seoane N., et al. Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Cotorro. Instituto de Geología y Paleontología 1998. 80 p.
- Gutiérrez, F., T. Arauzo, 1997. *Subsidencia kárstica sinsedimentaria en un sistema aluvial efímero: El barranco de Torrecilla (Depresión del Ebro, Zaragoza)*. Cuaderno Geología Ibérica, 21, pp 334-349.
- Harrigan W. F, Mc Cance. Métodos de Laboratorio en Microbiología. Editorial Academia, 1986.
- Instituto Geólogo Minero de España, 1987, *Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos de la Ciudad de Zaragoza Escala 1:25 000 y 1:50 000*, Serie Geólogo Ambiental, 99 p.
- Iturralde-Vinent, M., 1985. *Evaluación Ingeniero-Geológica del Territorio de las Provincias de La Habana*. En: Contribución a la Geología de las Provincias de La Habana y Ciudad de La Habana, Editorial Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, pp 12-54.
- Ministerio de la Construcción. Norma. *Mapas ingeniero-geológicos. Principios para su elaboración*.
- Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto de Geografía 1989.
- Ondrej D. The effect of the heavy metal soil contamination of the magnetic susceptibility, Acta Universitatis Carolinae. Geologia Nos. 1-2. 1993
- Peláez Fernández, J. L. y I. Corrales, 1996. *Mecanismo de transporte a lo largo de paleovalles: ejemplo de los depósitos basales de la cuenca estefaniense de Cangas de Narcea (Asturias)*. Cuaderno Geología Ibérica, 21, pp 72-93.
- Pérez, A. y J. Villena, 1996. Caracterización sedimentológica de los sistemas aluviales del Terciario del Margen Ibérico de la Cuenca del Ebro (Sector Central). Cuaderno Geología Ibérica, 21, pp 278-297.
- Seco R. Procesos Exogenéticos. Cuba 1982. 157p.
- SNPNA Hidrosfera. Muestreo de sedimentos para el análisis de la contaminación. NC 93- 01- 111-87
- Skwaletski, E., Iturralde-Vinent, M., 1970 a. *Contenido y principios básicos para la elaboración del mapa ingeniero-geológico de Cuba*. Voluntad Hidráulica, 19, pp 35-43.
- Skwaletski, E., Iturralde-Vinent, M., 1970 b. *Mapa ingeniero-geológico de Cuba, escala 1. 500 000*. Grupo hidráulico del DAP (distribución limitada).
- Toropchanina, S., L. Corbea, V. González, I. Padilla, R. Pérez, J. Triff, V. Strazhevich., 1998 *Estudio Geólogo Ambiental Integral del Municipio Regla*. Ciudad de la Habana, Instituto de Geología y Paleontología, 94 p.
- Ximenes de Tabares S. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental Vol. 1 Sao Paulo 1992. pp 11-17

B.8. Uso y Ocupación.

Para la confección del mapa de uso y ocupación del área de la cuenca del Río Martín Pérez (13,67 Km²) se utilizaron los datos de iguales trabajos realizados anteriormente en los municipios de San Miguel del Padrón, Regla y Guanabacoa los cuales además fueron actualizados mediante la fotointerpretación de imágenes aéreas, el análisis de las hojas topográficas a escala 1:10 000 y varios recorridos de comprobación por las áreas de interés de dichos municipios.

Como resultado se separaron 14 clases de uso y ocupación (Mapa de Uso y Ocupación):

Áreas urbanas. Están consideradas como tales las áreas residenciales urbanas con toda su infraestructura de viales, comercios, parques, etc., las cuales ocupan el 41,09 % del área total, aproximadamente 3,35 Km².

Áreas de cultivos varios. Son fincas y pequeñas parcelas particulares y estatales dedicadas al cultivo de viandas y hortalizas (Foto No), ubicadas generalmente en la periferia de las zonas urbanizadas. Ocupan en su conjunto un área de 2,43 Km², para un 11,96 % del total.

Áreas de terrenos baldíos. Se comprenden como tales terrenos ociosos o sin un uso determinado, los cuales se ubican en la periferia de las zonas urbanizadas, carreteras y otras vías de comunicación. Ocupan un área de 0,43 Km², para un 9,99 %.

Áreas boscosas. En esta clase se incluyen pequeñas arboledas, por lo general plantadas en zonas reforestadas y también vegetación riparia y pequeñas reservas forestales. En total cubren unos 1,60 Km² para el 8,09 % del territorio.

Áreas de plantaciones frutales. Ocupan un área de 1,31 Km² que constituye el 7,60 % de la cuenca y están representadas por pequeñas parcelas sembradas de diferentes frutos de estación, fundamentalmente mango y guayaba.

Áreas de zonas industriales. Son las principales industrias, áreas de almacenes de productos o materiales, talleres de reparaciones y otras instalaciones fabriles ubicadas dentro o en la periferia de las zonas urbanizadas y que ocupan alrededor del 4,87 % del total del territorio en un área de 2,31 Km².

Áreas de uso especial. Áreas reservadas para usos militares o instalaciones del Ministerio del Interior. Ocupan 0,31 Km², para un 4,75 %.

Áreas de servicio. Se incluyen las principales redes de viales, tales como autopistas, carreteras y avenidas, así como vías férreas. Cubren el 3,80 % del territorio, ocupando un área de 0,56 Km².

Áreas suburbanas. Son zonas de suburbios, barrios rurales y de la periferia que generalmente se ubican espaciadamente y cuentan con solares y parcelas, árboles frutales, etc. Cubren un área de 0,49 Km², para un 2,74 %.

Área receptora de efluentes. Están constituidas por los ríos principales y sus valles de inundación. Ocupan el 1,97 % del total del territorio en un área de 0,36 Km².

Áreas de uso social. Aquí se agrupan las instalaciones deportivas, recreativas, de salud y educacionales que ocupan espacios cartografiados a la escala. Estos, en total, ocupan cerca de 0,15 Km², para un 1,61 % del territorio.

Áreas impactadas por la minería. Se clasifican como tales, aquellos terrenos sirvieron en determinado momento para la extracción de materias primas minerales, fundamentalmente materiales de construcción en canteras y préstamos y que actualmente por lo general se utilizan como basureros y depósitos de escombros y otros usos inapropiados. Ocupan el 1,33 % del territorio en un área de 0,10 Km².

Cementerio. En el área aparece parte del cementerio municipal de Guanabacoa En total no sobrepasa el 0,45 % ocupando un área de 0,03 Km².

Basureros. Existe a todo lo largo del río depositados espontáneamente por la población (Ver Foto No). Encontrándose también zonas y vertederos de carácter oficial y semi oficial en el área de la cuenca (Ver Mapa) los cuales ocupan unos 0,24 Km², que representa el 0,035% del territorio de la cuenca.

C. Bibliografía.

Albear, J. F. de, M. Iturralde-Vinent, G. Carassou, M.A. Mayo, L.L. Peñalver 1977. *Yacimientos Minerales. En: Memoria Explicativa del Mapa Geológico a Escala 1:250 000 de las Provincias de la Habana.* Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, Ciudad de La Habana, (inédito), pp351-440.

Albear, J.F. de, M. Iturralde-Vinent, 1985. *Estratigrafía de las Provincias de La Habana.* En: Contribución a la Geología de las Provincias de La Habana y Ciudad de La Habana, Editorial Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, pp 12-54.

Alonso, A. Y Garzón, G., 1997. *Efectos sedimentarios de un río fuertemente antropizado: El Jarama, Madrid.* Cuaderno Geología Ibérica, 22, pp 240-265.

Barrientos, A., R. Carral, S. Gil, R. Pérez, R. Stout, J. Triff, N. Ponce, R. Rivada, M. García, V. Strazhevich, A. Castellanos, J.L. Díaz, A. González, J. A. Bastar, R. Del Busto, A. Méndez., 1998. *Estudio Integral Geólogo-Ambiental del Municipio Boyeros.* Ciudad de la Habana. Instituto de Geología y Paleontología, 104 p.

Bronnimann, P., D. Rigassi, 1963. *Contribution to the Geology and Paleontology of the Area of the City of La Habana, Cuba, and its surroundings.* Eclogae Geol. Helvetiae, 56 (1),. pp. 1-480

Bucek A Aseguramiento Territorial de la Estabilidad Ecológica y sus condiciones en Cuba. Editorial Academia. 1989.

Busquet E., Casas E., Pintó B. et al. Técnica no destructiva para el reconocimiento de zonas contaminadas por vertidos. Geofísica Ambiental Facultad de Geología, Universidad de Barcelona. España 1996. pp73-82

Cañete, Pérez C, Seoane N. Ponce, Díaz Comesañas J. et al. Estudio Integral Geólogo Ambiental del municipio San Miguel del Padrón. Instituto de Geología y Paleontología 1994. 26 p.

Cañete Pérez C, Seoane N. Ponce, Díaz Comesañas J. et al. Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Guanabacoa. Instituto de Geología y Paleontología 1997.

Cardona O. Gestión Ambiental para la Prevención. Agid Report n°88, 1982. pp 75-87

Correa G., Gil S., Pérez R. Et al. Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Arroyo Naranjo. Instituto de Geología y Paleontología 1998.

Franco, G. L. *et al*, 1991. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. IGP-MINBAS, Ciudad de La Habana.

García J. M., Travieso H., Abreu O. Et al. Evaluación de la carga contaminante afluente a la bahía de La Habana, aportada por los ríos Luyanó, Martín Pérez y arroyo Tadeo. Voluntas Hidráulica 1980. pp34-58

Garzón, G. Y Alonso, A., 1996. *El río Guardarrama, morfología y sedimentación actual en un cauce arenoso tipo braided*. Cuaderno Geología Ibérica, 21, pp 346-369.

Gil S., Castellano A., Seoane N., et al. Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Cotorro. Instituto de Geología y Paleontología 1998. 80 p.

Gutiérrez, F., T. Arauzo, 1997. *Subsidencia kárstica sinsedimentaria en un sistema aluvial efímero: El barranco de Torrecilla (Depresión del Ebro, Zaragoza)*. Cuaderno Geología Ibérica, 21, pp 334-349.

Harrigan W. F, Mc Cance. Métodos de Laboratorio en Microbiología. Editorial Academia, 1986.

Instituto Geólogo Minero de España, 1987. *Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos de la Ciudad de Zaragoza Escala 1:25 000 y 1:50 000*, Serie Geólogo Ambiental, 99 p.

Iturralde-Vinent, M., 1985. *Evaluación Ingeniero-Geológica del Territorio de las Provincias de La Habana*. En: Contribución a la Geología de las Provincias de La Habana y Ciudad de La Habana, Editorial Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, pp 12-54.

Ministerio de la Construcción. Norma. *Mapas ingeniero-geológicos. Principios para su elaboración*.

Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto de Geografía 1989.

Ondrej D. The effect of the heavy metal soil contamination of the magnetic susceptibility, Acta Universitatis Carolinae. Geologia Nos. 1-2. 1993

Peláez Fernández, J. L. y I. Corrales, 1996. *Mecanismo de transporte a lo largo de paleovalles: ejemplo de los depósitos basales de la cuenca estefaniense de Cangas de Narcea (Asturias)*. Cuaderno Geología Ibérica, 21, pp 72-93.

Pérez, A. y J. Villena, 1996. Caracterización sedimentológica de los sistemas aluviales del Terciario del Margen Ibérico de la Cuenca del Ebro (Sector Central). Cuaderno Geología Ibérica, 21, pp 278-297.

Seco R. Procesos Exogenéticos. Cuba 1982. 157p.

SNPNA Hidrosfera. Muestreo de sedimentos para el análisis de la contaminación. NC 93- 01- 111-87

Skwaletski, E., Iturralde-Vinent, M., 1970 a. *Contenido y principios básicos para la elaboración del mapa ingeniero-geológico de Cuba*. Voluntad Hidráulica, 19, pp 35-43.

Skwaletski, E., Iturralde-Vinent, M., 1970 b. *Mapa ingeniero-geológico de Cuba, escala 1. 500 000*. Grupo hidráulico del DAP (distribución limitada).

Toropchanina, S., L. Corbea, V. González, I. Padilla, R. Pérez, J. Triff, V. Strazhevich., 1998 *Estudio Geólogo Ambiental Integral del Municipio Regla*. Ciudad de la Habana, Instituto de Geología y Paleontología, 94 p.

Ximenes de Tabares S. *Aspectos Geológicos de Protección Ambiental Vol. 1* Sao Paulo 1992. pp 11-17







INDICE DE FOTOS Y FIGURAS.

	Página.
1. Foto No. 1	2
2. Fig. 1 Mapa de Ubicación.	7
3. Fig. 2 Mapa Geológico.	9
4. Foto No. 2	12
5. Fig. 3 Mapa Geomorfológico Aplicado.	17
6. Fig. 4 Perfiles Longitudinales, Transversales y Secciones Esquemáticas. 19	
7. Foto No. 3	21
8. Fig. 5 Mapa de Pendientes en grados.	23
9. Foto No. 4	27
10. Fig. 6 Mapa de Susceptibilidad a la Erosión.	30
11. Fig. 7 Mapa de Ubicación de las mediciones geofísicas.	32
12. Fig. 8 Perfiles del Campo Eléctrico Natural.	34
13. Fig. 9 Perfiles del Sondeo Eléctrico Vertical.	36
14. Fig. 10 Perfiles de Magnetometría.	37
15. Fig. 11 Mapa de la Red de Drenaje.	43
16. Foto No. 5	46
17. Fig. 12 Mapa de Contaminación.	53
18. Fig. 13 Mapa de Vegetación.	58
19. Fig. 14 Mapa de Uso y Ocupación.	61
20. Foto No. 6	62
21. Fig. 15 Mapa de Función.	66
22. Fig. 16 Diagrama de Flujo.	69