

Análisis multicriterio espacial y medio ambiente urbano. Estudio de caso: ciudad Camagüey, Cuba

Josefa Primelles Fariñas ⁽¹⁾ y Beatriz Lao Ramos ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey (CIMAC). Cisneros 105 a(alto), entre Pobres y Ángel, Camagüey. Cuba.

Recibido octubre 8, 2010	Aprobado noviembre 15, 2010
--------------------------	-----------------------------

Resumen

La evaluación ambiental urbana es la más importante fuente de conocimientos ambientales sobre la ciudad, conocimientos cada vez más demandados por los distintos actores sociales ante la actual falta de integración de la información que se requiere, de forma creciente, para la toma de decisiones en tiempo real (casi), en los complejos sistemas ambientales. La evaluación del medio ambiente físico de la ciudad Camagüey es concebida como un proceso multidisciplinario y multisectorial, puede ser considerada una herramienta fundamental para la gestión ambiental en la ciudad, por su aporte a la identificación de los principales problemas físico-ambientales, sus causas, impactos negativos y respuestas y la implicación de los principales actores en su realización.

La evaluación del medio ambiente físico a nivel de los paisajes de la ciudad se sustentó en el diseño e implementación de un modelo de evaluación semi-cuantitativo, que involucró un sistema de indicadores ambientales urbanos y el método de análisis multicriterio espacial, los cuales permitieron modelar el medio ambiente urbano en términos de presión, estado, impacto y respuesta mediante cuatro mapas. La tabulación cruzada de los mapas de Presión, Estado e Impacto, unido al análisis de la Respuesta, permitió obtener el mapa Comportamiento de los indicadores de Presión-Estado-Impacto-Respuesta en cada paisaje urbano, el cual sirvió de base a la modelación cartográfica de una propuesta de acciones para el mejoramiento ambiental de la ciudad.

Palabras clave: Evaluación ambiental.

Abstract

Urban environmental assessment is the most important source of environmental knowledge about the city, knowledge increasingly demanded by the various social actors with the current lack of integration of information required, increasingly, for taking decision in real time (almost) in complex environmental systems. The evaluation of the physical environment of Camagüey city is conceived as a multidisciplinary and multisectoral process, it can be considered a fundamental tool for environmental management in the city, for their contribution to the identification of physical and environmental main problems, their causes, negative impacts and responses and the involvement of major actors in their implementation.

The assessment of the physical environment at the level of the landscape of the city was based on the design and implementation of a model of semi-quantitative assessment, which involved a system of urban environmental indicators and the method of spatial multi-criteria analysis, which allowed model the urban environment in terms of pressure, state, impact and response by four maps. The cross-tabulation of the maps of pressure, state and impact, combined with the analysis of response, allowed to obtain the map behaviour indicators Pressure-State-Impact-Response in each urban landscape, which was the basis of cartographic modelling of proposed actions for environmental improvement of the city.

Key words: Environmental evaluation.

Introducción

A la problemática ambiental que enfrenta la humanidad se une un acelerado proceso de la urbanización, lo que ha determinado el interés actual por el medio ambiente urbano, en especial de las ciudades intermedias y áreas metropolitanas en todo el mundo, incluida América Latina y por ende en Cuba. En América Latina la urbanización alcanza ya el 75 % de la población y en consecuencia se está produciendo un proceso también acelerado de urbanización de la pobreza al que se asocian muchos de los problemas ambientales de la región.

En GEO América Latina y el Caribe 2003 (PNUMA, 2003), se señala que “Considerando el permanente crecimiento de la población de los centros urbanos de América Latina y del Caribe y su creciente vulnerabilidad frente a los desastres naturales, se vuelve necesaria una mejor comprensión de la relación existente entre las dinámicas urbanas y la calidad del medio ambiente, así como de las políticas urbanas que incurren sobre el mismo, afectándolo y transformándolo en una prioridad para la región como un elemento importante en la promoción de procesos decisivos dedicados a la implementación del desarrollo sustentable. Una de las características físicas más llamativas de la pobreza urbana en la región es la creciente mala condición de las viviendas y el desigual acceso a los servicios públicos básicos”.

La política ambiental en Cuba ha estado sustentada en los principios del desarrollo económico y social equitativo para todo el pueblo, los programas de la Revolución dirigidos a garantizar el derecho a la salud, a la educación y a una mayor justicia social son premisas del alcance de la dimensión ambiental en el proyecto social cubano. No obstante, las ciudades cubanas no son ajenas a un grupo importante de problemas ambientales, que generan riesgos y limitan la calidad de vida, entre ellos, los vinculados al saneamiento y el estado de la vivienda, entre otros aspectos, evidenciado este último en la vulnerabilidad ante eventos meteorológicos extremos, como los ciclones tropicales. Una respuesta a esta problemática está en el incremento del nivel de conocimiento de la problemática ambiental de los asentamientos, que puede servir de base a estrategias de mejoramiento ambiental y adaptación al cambio climático, a partir del conocimiento de los cambios y tendencias del medio ambiente urbano.

La evaluación ambiental urbana, como proceso continuo y participativo puede proveer este conocimiento, la misma requiere una base consistente de información y conocimientos actualizados, con un alto nivel de agregación e integración y un enfoque sistémico. Especialistas e instituciones del país han abordado en sus investigaciones la problemática ambiental en los asentamientos urbanos, la ciudad Camagüey ha sido también objeto de importantes estudios vinculados a su medio ambiente, estos estudios han visualizado la problemática ambiental urbana desde una óptica parcial o sobre determinados aspectos de interés dentro de la ciudad.

Distintos métodos han sido utilizados, internacionalmente y en el país, para el análisis del comportamiento de los indicadores ambientales. Para las evaluaciones de variables espaciales, toma creciente interés el método de análisis multicriterio espacial, utilizado en la investigación y por distintos autores extranjeros y cubanos para distintas tareas (Barredo, 1996; Castellanos y Van Westen, 2007; Cos, 2007; Martín, 2009).

El objetivo del trabajo que se presenta es realizar la evaluación del medio ambiente físico de la ciudad de Camagüey mediante la utilización del método de análisis multicriterio espacial, apoyado en un modelo de evaluación ambiental a nivel de los paisajes urbanos y el uso de un sistema de indicadores ambientales urbanos.

Materiales y métodos

La evaluación del medio ambiente físico a nivel de los paisajes de la ciudad se sustenta en el diseño e implementación de sistema de indicadores ambientales urbanos, un modelo de evaluación semi-cuantitativo (Fig. 1), a nivel de los paisajes urbanos (Tabla 1, Fig. 3) y el análisis multicriterio espacial, basado en el método de jerarquías analíticas (Saaty, 1980). Se utilizan como entrada los conjuntos de mapas que representan los indicadores de presión, estado, impacto y respuesta, para los paisajes residenciales y no residenciales, los cuales se agrupan, estandarizan y se les asigna un peso, en un “árbol de indicadores o criterios” (Fig. 2). Los métodos utilizados para establecer los pesos relativos de los indicadores fueron la comparación por pares y el directo, indistintamente, mientras que para su normalización se utilizaron los métodos máximo y de intervalos, provistos todos por la herramienta Spatial Multi-criteria Evaluation (SMCE), de software Ilwis 3.2, que asiste y guía a los usuarios para realizar la evaluación multicriterio espacial (ITC, 2001). El sistema de indicadores, el modelo de evaluación y los pesos relativos de los indicadores ambientales, fueron consensuados en el marco un taller efectuado con ese propósito.

Se utilizan como entrada los mapas que representan los indicadores de presión, estado, impacto y respuesta, la salida son ocho mapas de índice compuesto: de presión, estado, impacto y respuesta, para los paisajes residenciales y no residenciales, que son posteriormente reclasificados. La suma de los mapas correspondientes a los paisajes residenciales y no residenciales para cada análisis, permitieron obtener los mapas de Presión, Estado, Impacto y Respuesta, para la ciudad. La tabulación cruzada de los mapas de Presión, Estado e Impacto, mediante la herramienta Cross del software Ilwis 3.2, permitió obtener un mapa de tipos de paisajes urbanos, atendiendo al comportamiento de estos indicadores, que unido al análisis de los tipos de respuesta, sirvió de base a una propuesta de acciones para el mejoramiento ambiental urbano en estas unidades de análisis.

Resultados y discusión

La evaluación multicriterio espacial realizada consistió en el conjunto de operaciones realizadas para evaluar los indicadores de presión, estado, impacto y respuesta en los paisajes residenciales y no residenciales de la ciudad Camagüey. Como premisa, fue diseñado y generado un sistema de indicadores ambientales urbanos tomando como base la identificación de los problemas del medio ambiente físico de la ciudad y la matriz Presión-Estado-Impacto-Respuesta (PEIR), del Proyecto Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO) y su análisis lógico (PNUMA, 2003), así como las experiencias de autores nacionales y extranjeros (Bosque, 1996; Navarrete, 2005; CITMA, 1999). Estos indicadores fueron utilizados en la evaluación del medio ambiente físico a nivel de los paisajes urbanos (Mendieta y Primelles, 2005), diferenciando el área residencial y la no residencial, con un análisis más exhaustivo para el área residencial que concentra el 91% de la población de la ciudad. En la evaluación ambiental realizada, que privilegia el análisis espacial, la información experimenta un proceso creciente de integración y adición de valor agregado que permite visualizar la diferenciación ambiental dentro de la ciudad.

Indicadores ambientales para la evaluación del medio ambiente físico de la ciudad Camagüey.

El sistema de indicadores ambientales urbanos propuestos expresan las presiones, estados, impactos (negativos) y respuestas asociadas a los principales problemas físico-ambientales de la ciudad Camagüey.

Los problemas del medio ambiente físico, identificados en los paisajes residenciales de la ciudad son: la insuficiente disponibilidad del agua de abasto, la contaminación del agua y la atmósfera, las insuficiencias del saneamiento ambiental y la infraestructura, el déficit de áreas verdes y las inundaciones. En los paisajes no residenciales fueron identificados la contaminación del agua y la atmósfera, las insuficiencias del saneamiento ambiental y el uso inadecuado del suelo urbano.

El sistema de indicadores ambientales comprende 56 indicadores, 45 de ellos referidos a las unidades de paisajes urbanos, utilizados en el análisis multicriterio espacial en estas unidades de análisis y 11 referidos a la ciudad. La elaboración de cada indicador exigió la utilización de herramientas de geoprocésamiento para la realización de un conjunto de operaciones con la información geográfica, con el uso de operadores geométricos y matemáticos. Este sistema de indicadores se concibe abierto al perfeccionamiento continuo.

Los indicadores de presión, siete en total, expresan variables que describen las fuerzas económicas y sociales que subyacen en el medio ambiente urbano, el análisis de su comportamiento constituye el punto de partida para enfrentar los problemas ambientales de la ciudad y busca responder la pregunta ¿por qué sucede esto? Se integran en dos variables: desarrollo poblacional y urbano y crecimiento urbano espontáneo y están asociados a la densidad de población, la producción de residuales, la demanda de agua y al crecimiento espontáneo de áreas residenciales. Las presiones fuertes dentro de la ciudad se asocian a una concentración de las densidades altas y medias de población hacia el centro del área residencial, la demanda de unos 38 millones de m³ de agua, la producción de unos 27 millones de m³ de residuales líquidos con una carga orgánica expresada en DBO de unas 4 828 ton/año y unas 56 mil toneladas de residuales sólidos urbanos. La población que habita en estas áreas es de unas 201 000 personas; 20 000 de ellas residen en barrios de crecimiento espontáneo y 36 4000 en áreas inundables.

Los indicadores de estado, 18 en total, expresan la condición del medio ambiente físico de la ciudad, en relación con los problemas ambientales identificados y que son resultado de las presiones. Su comportamiento es de sumo interés para que las personas responsables de la toma de decisiones y el público en general conozcan el estado del medio ambiente y sus efectos indirectos, responde a la pregunta: ¿qué está sucediendo con el medio ambiente? Se asocian a las insuficiencias de la vivienda, redes hidrosanitarias, viales, la cobertura espacial de servicios de transporte, las áreas verdes y la calidad y disponibilidad del agua de abasto. Incluyen otros relacionados con la presencia de sitios contaminados, focos de *Aedes aegypti*, fuentes de contaminación atmosférica y áreas inundables y degradadas.

Los indicadores de impacto negativo, siete en total, expresan el efecto producido por el estado del medio ambiente sobre aspectos tales como la calidad de vida y la salud humana, sobre el propio medio ambiente, sobre el ambiente construido y sobre la economía urbana local. Los impactos fueron valorados a partir de la incidencia negativa del estado del medio ambiente de la ciudad sobre los servicios ambientales (provisión de agua y hábitat), el bienestar humano (salud y seguridad) y sobre el presupuesto. Están asociados a la reducción de la disponibilidad del agua de abasto en áreas sin acueducto o con servicio de acueducto de mala calidad, la pérdida de la calidad de agua subterránea, del fondo habitacional, de valores recreativos, turísticos y patrimoniales, el incremento del riesgo epidemiológico en áreas afectadas por focos de *Aedes aegypti*, la incidencia de enfermedades asociadas a las condiciones ambientales, la vulnerabilidad ante desastres, y los gastos para la prevención de riesgos ambientales, recuperación de valores patrimoniales y contingencias de desastres.

Los indicadores de respuesta, 13 en total, expresan las acciones colectivas o individuales que atenúan o previenen los impactos ambientales negativos, corrigen los daños ocasionados al medio ambiente, conservan los recursos naturales o contribuyen para mejorar la calidad de vida de la población local. Se integran en cuatro

variables: instrumentos para la gestión ambiental, mejoramiento de las infraestructuras, incremento de la cobertura de servicios básicos y mejoramiento de la situación higiénico-epidemiológica y la reforestación.

Resultados de la evaluación multicriterio espacial de los indicadores ambientales en los paisajes de la ciudad de Camagüey

Los resultados de la evaluación multicriterio espacial permitieron modelar el medio ambiente físico urbano en términos de presión, estado, impacto y respuesta, a nivel de los paisajes urbanos. A continuación se presentan los resultados de la evaluación, reclasificados, asociándolos a los tipos de paisajes, su distribución espacial dentro de la ciudad y a la población residente.

Resultados de la evaluación multicriterio espacial de los indicadores de presión

Los paisajes residenciales evaluados con un índice de *presión fuerte* (0,07-0,84), se corresponden con zonas residenciales de las llanuras aterrazada y aluvial y seis tipos de unidades de paisaje residencial. Están representados por 22 espacios urbanos que ocupan una extensión de 20,8 km² y constituyen una amplia zona compacta dentro de la ciudad, asociada a las áreas más densamente pobladas del centro urbano y otras de crecimiento residencial formal y espontáneo, donde habitan unas 201 000 personas. Los paisajes residenciales evaluados con un índice de *presión media* (0,02-0,06), se corresponden con zonas de las llanuras alta, aterrazada y aluvial y seis tipos de unidades de paisaje residencial. Están representados por 46 espacios urbanos, de pequeña y mediana extensión, que ocupan en total un área de 8,8 km², y tienen una distribución muy dispersa dentro del área residencial, fuera del centro y hacia su periferia. Se asocian a áreas de densidades poblacionales medias y otras de crecimiento residencial espontáneo. La población que habita en estas áreas es de unas 50 000 personas. Los paisajes residenciales evaluados con un índice de *presión baja* (0-0,01), se corresponden con zonas de la llanura alta, aterrazada y aluvial y están presentes los nueve tipos de unidades de paisaje residencial. Estas unidades de paisaje están representadas por 17 espacios urbanos, de pequeña extensión, que ocupan en total un área de 1,7 km², que se localizan hacia todas las direcciones de la periferia residencial. Se asocian a áreas de densidades poblacionales bajas y otras de crecimiento residencial espontáneo. La población que habita en estas áreas es de unas 4 000 personas.

Los paisajes no residenciales evaluados con un índice de *presión fuerte* (0,19-0,71), se corresponden con cinco espacios de las llanuras aterrazada y aluvial, que en total ocupan una extensión de 15,3 km². Uno de ellos ocupa una amplia extensión al este de la ciudad mientras que los otros cuatro constituyen pequeños espacios rodeados de áreas residenciales, en ellos residen unos 10 120 habitantes y se localiza el mayor número de fuentes contaminantes de la ciudad. Los paisajes no residenciales evaluados con un índice de *presión media* (0,06-0,18), se corresponden con ocho paisajes no residenciales localizados en las llanuras alta, aterrazada y aluvial, que en total ocupan una extensión de 22,7 km², localizados hacia el este, nordeste y su de la ciudad, en ellos residen unas 11 900 personas. Los paisajes no residenciales con un índice de *presión baja* (0-0,05), se corresponden con 18 espacios de pequeña y mediana extensión en las llanuras aterrazada y aluvial, que en total ocupan una extensión de 8,5 km², localizados hacia los bordes norte y sur de la ciudad, en ellos residen unas 23 900 personas.

En la Fig. 4 se presenta el Mapa Comportamiento de los indicadores de Presión en los paisajes urbanos de la ciudad Camagüey.

Resultado de la evaluación multicriterio espacial de los indicadores de estado

El análisis del comportamiento de los indicadores de estado en los paisajes residenciales y no residenciales, evidencia la diferenciación espacial de la problemática ambiental urbana. Los paisajes residenciales con un índice de estado *muy complejo* (0,36-0,67), se corresponden con cinco tipos de paisajes residenciales pertenecientes a las llanuras aterrazada y aluvial. Estas unidades de paisaje están representadas por 21 espacios urbanos, un grupo de ellos de gran extensión, que ocupan un área de 21,3 km² y tienen una amplia distribución geográfica dentro de la ciudad. La población que habita en estas áreas es de 191 200 habitantes. Los paisajes residenciales con un índice de *estado medianamente complejo* (0,25-0,35), pertenecen a ocho tipos, localizados en las llanuras alta, aterrazada y aluvial. Estas unidades de paisaje están representadas por 45 espacios, de extensiones pequeñas y medias, que ocupan un área de 6,9 km². Se localizan dispersos, hacia la periferia residencial, especialmente hacia el norte y el nordeste, en ellos residen unas 35 800 personas. Los paisajes residenciales con un índice de *estado poco complejo* (0,13-0,24), comprenden seis tipos de paisajes residenciales dentro de las llanuras alta, aterrazada y aluvial. Están representados por 19 espacios, de extensiones pequeñas y medias, que ocupan un área de 3,1 km² y tienen una distribución dispersa en la ciudad, en ellos habitan unas 28 400 personas.

El análisis de los indicadores de estado en los paisajes no residenciales, permite reconocer que los que presentan un índice de estado *muy complejo* (0,1-0,72), se corresponden con nueve espacios localizados en las llanuras aterrazada y aluvial. Constituyen, un grupo de ellos, extensas áreas localizadas entre la zona residencial y el límite urbano y en total ocupan una extensión de unos 32 km², donde habitan unas 16 000 personas. Los paisajes no

residenciales con un índice de estado *medianamente complejo* (0,03-0,09), se corresponden con 11 espacios dentro de las llanuras alta, aterrizada y aluvial. Ocupan una extensión de 12 km², y constituyen, con excepción de una amplia unidad de paisajes localizada al nordeste de la ciudad, pequeños y medianos espacios, localizados fundamentalmente hacia el sur de la periferia urbana, en ellos habitan unas 3 700 personas. Los paisajes no residenciales con un índice de estado *poco complejo* (0-0,02), se corresponden con 11 espacios dentro de las llanuras aterrizada y aluvial. Ocupan una extensión de unos 3 km² y constituyen pequeños y medianos espacios, localizados fundamentalmente hacia el sur y norte de la periferia urbana, en los cuales habitan unas 4 400 personas.

En la Fig. 5 se presenta el Mapa Comportamiento de los indicadores de Estado en los paisajes urbanos de la ciudad Camagüey.

Resultado de la evaluación multicriterio espacial de los indicadores de impacto.

Los paisajes residenciales *muy impactados* (0,18-0,71), se corresponden con cinco tipos de paisajes residenciales pertenecientes a las llanuras aterrizada y aluvial. Estas unidades de paisaje están representadas por 23 espacios urbanos, un grupo de ellos de gran extensión, que ocupan un área de 24,5 km² y tienen una amplia distribución geográfica dentro de la ciudad, la población residente es de unos 212 500 habitantes. Los paisajes residenciales *medianamente impactados* (0,15-0,17), pertenecen a seis tipos de paisajes residenciales, localizados en las llanuras alta, aterrizada y aluvial. Estas unidades de paisaje están representadas por 38 espacios, de extensiones pequeñas, que ocupan un área de unos 3 km². Se localizan, en forma dispersa, hacia todas las direcciones de la periferia del área residencial, en ellos habitan unas 10400 personas.

Los paisajes residenciales *poco impactados* (0-0,13), pertenecen a seis tipos de paisajes residenciales dentro de las llanuras alta y aterrizada. Comprenden 24 espacios, de extensiones pequeñas y medias, que ocupan un área de unos 4 km² y tienen una distribución dispersa en la ciudad, hacia la periferia de la zona residencial, en ellos residen unas 32 400 personas.

El análisis de los indicadores de impacto en los paisajes no residenciales, permite reconocer que los *muy impactados* (0,18-0,70), se corresponden con nueve espacios localizados en las llanuras alta, aterrizada y aluvial. Constituyen, un grupo de ellos extensas áreas localizadas entre la zona residencial y el límite urbano, en total ocupan una extensión de unos 40 km², en ellas habitan unas 17 000 personas. Los paisajes no residenciales *medianamente impactados* (0,03-0,17), se corresponden con 16 espacios dentro de las llanuras aterrizada y aluvial. Ocupan una extensión de 5 km² y constituyen pequeños espacios localizados en forma radial, por pertenecer algunos de ellos a llanuras aluviales, entre la zona residencial y el límite urbano. En ellos habitan unas 6 000 personas. Los paisajes no residenciales *poco impactados* (0,01-0,02), se corresponden con seis espacios dentro de las llanuras aterrizada y aluvial. Ocupan una extensión de unos 1,5 km², y constituyen pequeños espacios en los cuales habitan unas 700 personas.

En la Fig. 6 se presenta el Mapa Comportamiento de los indicadores de Impacto en los paisajes urbanos de la ciudad Camagüey.

Resultado de la evaluación multicriterio espacial de los indicadores de Respuesta

El análisis de los indicadores de respuesta en los paisajes residenciales, permite reconocer que los que presentan un índice de *respuesta alta* (0,031-0,57), se corresponden con siete espacios localizados en las llanuras aterrizada y aluvial. Se localizan en una amplia zona residencial, de unos 10 km², dada la extensión de algunas de estas unidades de paisaje, con una orientación norte-sur, que comprende el Centro Histórico, donde habitan unas 117 000 personas. Los paisajes residenciales con un índice de *respuesta media* (0,01-0,03), se corresponden con 21 espacios, algunos de ellos extensos, dentro de las llanuras aterrizada y aluvial. Ocupan una extensión de 8,4 km², y están localizados fundamentalmente hacia el noroeste y el sureste de la ciudad, en ellos habitan unas 73 000 personas. Los paisajes residenciales con una *respuesta baja* (0,0), se corresponden con 57 espacios dentro de las llanuras aterrizada y aluvial. Ocupan una amplia extensión de unos 13 km², y constituyen pequeños espacios dispersos, localizados hacia la periferia del área residencial en los que residen unas 66 000 personas.

El análisis de los indicadores de respuesta en los paisajes no residenciales, permite reconocer que presentan un índice de *respuesta alta* (0,31-0,70), tres espacios localizados hacia el sur y el este de la ciudad, en la llanura aterrizada, donde ocupan una extensión de 17,3 km², en ellos habitan unas 9 700 personas. Los paisajes no residenciales con un índice de *respuesta media* (0,02-0,08), comprenden 9 amplios espacios dentro de las llanuras alta, aterrizada y aluvial, se extienden por 19,2 km² y se localizan hacia el noreste y el noroeste de la ciudad, en ellos habitan unas 5 900 personas. Los paisajes no residenciales con un índice de *respuesta baja* (0-0,01), se corresponden con 18 espacios, que ocupan una extensión de 10 km² dentro de las llanuras aterrizada y aluvial. Se localizan principalmente, hacia el suroeste y norte de la periferia urbana, son de extensiones pequeñas y medianas y en ellos habitan unas 8 300 personas.

En la Fig. 7 se presenta el Mapa Comportamiento de los indicadores de Respuesta en los paisajes urbanos de la ciudad Camagüey.

Análisis del comportamiento de los indicadores de Presión-Estado-Impacto-Respuesta en los paisajes urbanos.

La tabulación cruzada de los mapas de presión, estado e impacto, permitió obtener un mapa con 21 tipos que expresan las combinaciones de presión-estado-impacto en los paisajes urbanos. Sobre esta capa temática se superpuso la referida a las respuestas en cada paisaje urbano, para obtener un mapa de síntesis del medio ambiente físico en la ciudad.

Tres de los tipos de presión-estado-impacto, los números 1, 9 y 11, que caracterizan a 30 paisajes urbanos; 24 residenciales y 6 no residenciales, cubren una extensión de 52,4 km², que representa el 66.3 % del área urbana, en la que residen unos 213 000 ciudadanos, el 69 % de la población. De forma predominante, en esta extensa área urbana, la presión sobre el medio ambiente es Alta, lo que provoca un estado ambiental Muy complejo, como resultado del cual el medio ambiente físico de la ciudad resulta Muy impactado, lo que se corresponde con la complejidades propias de un sistema ambiental urbano. Las respuestas en esta área, son predominantemente medias y altas. En la Fig. 8 se presenta el Mapa Tipos de Presión-Estado-Impacto-Respuesta en los paisajes urbanos de la ciudad de Camagüey.

Propuesta de acciones para el mejoramiento ambiental urbano

Las principales líneas de acción para el mejoramiento ambiental en la ciudad son: el mejoramiento y completamiento de las infraestructuras, el uso racional del agua, el incremento del saneamiento ambiental, la disminución de la contaminación ambiental, el ordenamiento territorial y el manejo de desastres, el fomento de las áreas verdes y la reforestación, el incremento de la cobertura espacial del servicio de transporte y de la cultura ambiental de la población residente. Fueron identificadas 36 acciones, combinándose en cinco tipos, atendiendo a la problemática del medio ambiente físico en los paisajes urbanos; tres tipos se corresponden con el área residencial y dos con el área no residencial. En la Fig. 9 se muestra el Mapa mejoramiento ambiental urbano.

Conclusiones

La utilización de un modelo de evaluación que involucra un sistema de indicadores ambientales, los paisajes urbanos como unidades de análisis intraurbanas y un método parametrizable de análisis, que se apoya en el análisis multicriterio espacial, permite modelar el medio ambiente físico urbano en términos de presión, estado, impacto y respuesta y coadyuva a la formalización y transparencia del proceso evaluativo y a la comprensión, interpretación y uso efectivo.

Referencias

- Barredo J. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid: RAMA. 261 pp.
- Bosque, S. (1996). *Indicadores de desarrollo sostenible. Marco y metodologías*. Recuperado el 20 de junio de 2008 de <http://www.geogra.uah.es/~joaquin/ppt>.
- Castellanos, E. and C.J. Van Westen. (2007). *Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation*. En: *Landslides: Journal of the International Consortium on Landslides*, pp 311-325.
- Cos, O. (2007). *SIG y Evaluación multicriterio: Propuesta metodológica para cuantificar el grado de metropolización en el territorio*. Universidad de Cantabria. Recuperado el 15 de mayo de 2008 de <http://www.mappinginteractivo.com>
- International Institute for Geo- Information Science and Earth Observation (ITC). (2001). *Ilwis 3.0 Academic-User's Guide*. ITC, Enschede, Netherlands, 520 pp.
- Martín, G. (2009). *Empleo de métodos de modelación multicriterio discretos y SIG en la determinación de áreas vulnerables a la desertificación*. En: *Evento Informática 2009 C.D. Room ISBN 978-286-010-0*. La Habana.
- Mendieta L. y J. Primelles. (2005). *Estrategia para el diagnóstico y la actuación ambiental en función del ordenamiento territorial de la ciudad Camagüey*. En: *Convención Internacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo. C.D. Room ISBN 959-0282-06-7*. La Habana.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). (1999). *Propuesta para la implementación del sistema Nacional de Monitoreo Ambiental. Documento de Trabajo*. La Habana: Centro de Información y Gestión Ambiental, 27 pp.
- Navarrete, M. (2005). *Diseño de indicadores de sostenibilidad urbana. Curso a Distancia Bases para la gestión ambiental urbana sostenible*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).37 pp.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2003). *Geo América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente, 2003*. Costa Rica.280 pp.
- Saaty, T.L. (1980). *The analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill.

Anexos

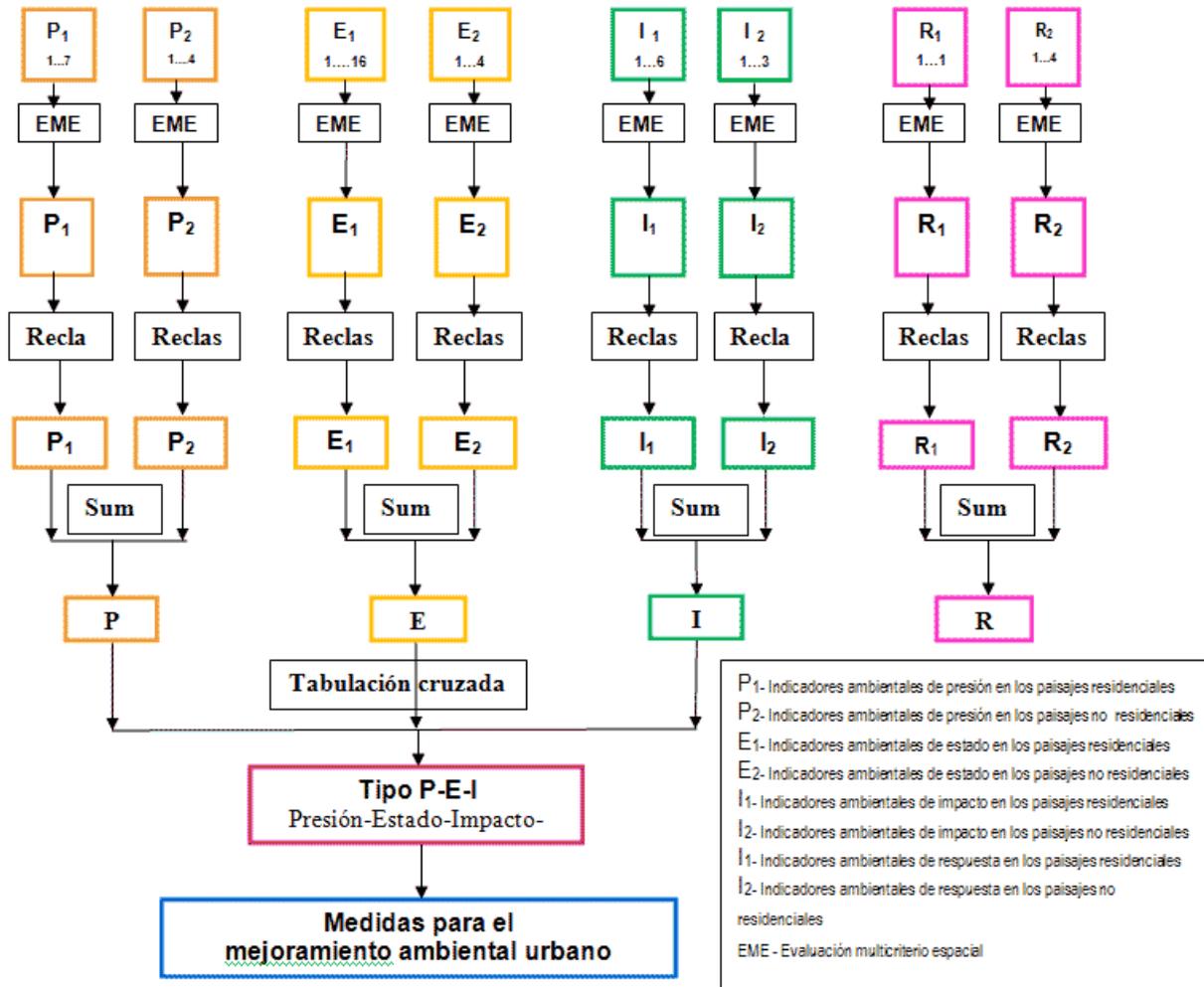


Figura 1. Modelo de evaluación de los indicadores ambientales en los paisajes urbanos. (Fuente: Elaborado por J. Primelles.)

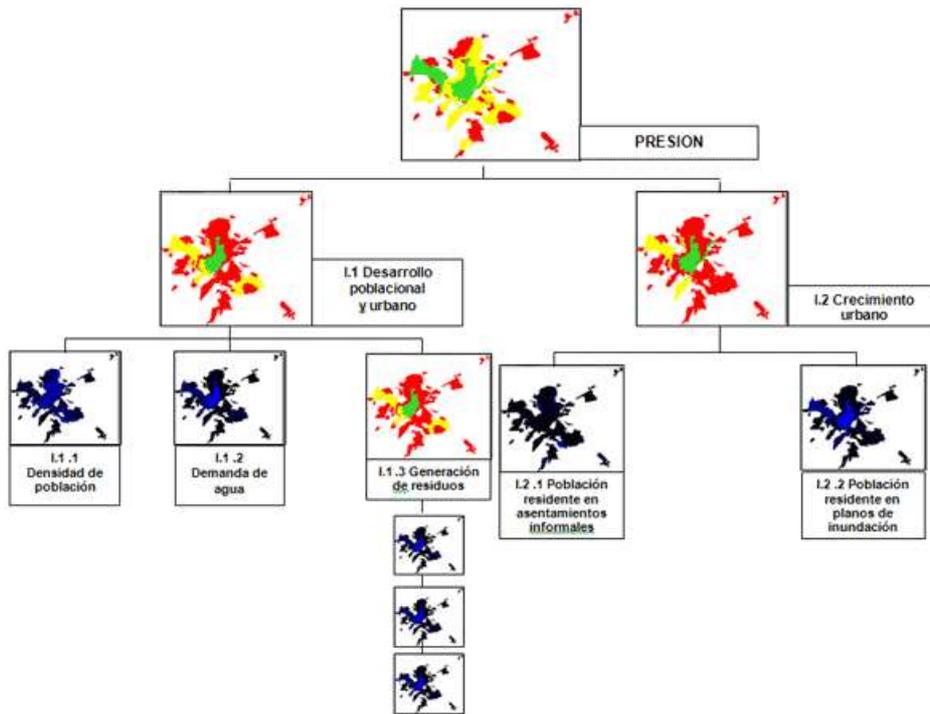


Figura 2. Modelo de análisis multicriterio espacial (Selección). Árbol de indicadores de Presión en los paisajes residenciales. (Fuente: Elaborado por J. Primelles.).

Tabla 1: Unidades de paisaje urbano de la ciudad de Camagüey. (Fuente: Mendieta y Primelles)

<p>I.- Llanura alta (110 – 130.m) denudativa y denudativa acumulativa sobre los complejos ofiolítico, granodiorítico y gabrosienítico cubiertos fundamentalmente por serpentinas, granitoides y sienitas con suelos fersialíticos, ferríticos y pardos y presencia de vegetación secundaria, ruderal y cultural; fundamentalmente urbanizada y parcialmente urbanizada. (Llanura alta denudativa y denudativa acumulativa).</p> <p>I.1.- Llanura alta denudativa y denudativa acumulativa urbanizada y parcialmente urbanizada con uso residencial.</p> <p>I.1.1 Edificios multifamiliares</p> <p>I.1.2 Repartos residenciales</p> <p>I.1.3 Barrios espontáneos</p> <p>I.2.- Llanura alta denudativa y denudativa acumulativa urbanizada, parcialmente urbanizada y no urbanizada con uso no residencial.</p>
<p>II.- Llanura aterrazada (80 – 110.m) denudativa acumulativa sobre los complejos granodiorítico y gabrosienítico de granitoides y sienitas fundamentalmente, con suelos pardos y fersialíticos y presencia de vegetación ruderal, frutos menores, pastos y manigua; urbanizada, parcialmente urbanizada y no urbanizada. (Llanura aterrazada denudativa acumulativa).</p> <p>II.1.- Llanura aterrazada denudativa acumulativa urbanizada y parcialmente urbanizada con uso residencial.</p> <p>II.1.1 Centro Histórico</p> <p>II.1.2 Edificios multifamiliares</p> <p>II.1.3 Repartos residenciales de standard medio-alto</p> <p>II.1.4 Repartos residenciales</p> <p>II.1.5 Barrios espontáneos</p> <p>II.2.- Llanura aterrazada denudativa acumulativa urbanizada, parcialmente urbanizada y no urbanizada con uso no residencial.</p>
<p>III.- Llanura aluvial sobre los complejos granodiorítico y gabrosienítico con suelos pardos, fersialíticos y aluviales y presencia de comunidades acuáticas de agua dulce, pastos y manigua; parcialmente urbanizada y no urbanizada. (Llanura aluvial).</p> <p>III.1.- Llanura aluvial parcialmente urbanizada con uso residencial.</p> <p>III.1.1 Repartos residenciales</p> <p>III.1.2 Barrios espontáneos.</p> <p>III.2.- Llanura aluvial urbanizada, parcialmente urbanizada y no urbanizada con uso no residencial.</p>

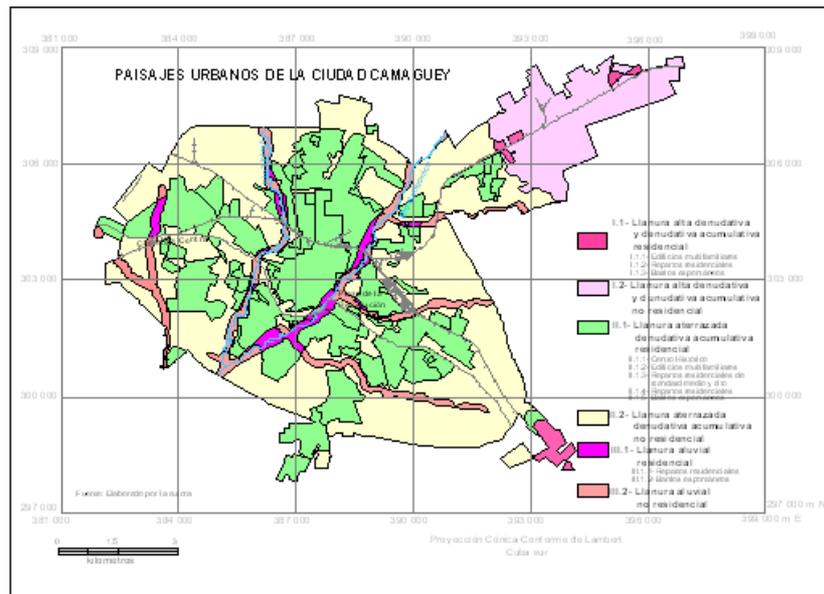


Figura 3. Mapa Paisajes urbanos de la ciudad Camagüey. (Fuente: Elaborado por L. Mendieta y J. Primelles).

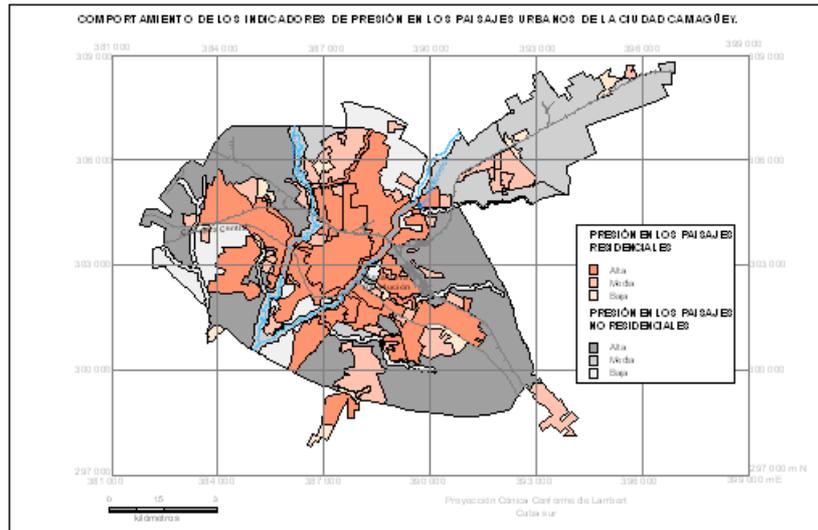


Figura 4. Mapa Comportamiento de los indicadores de Presión en los paisajes urbanos de la ciudad Camagüey. (Fuente: Elaborado por J. Primelles.).

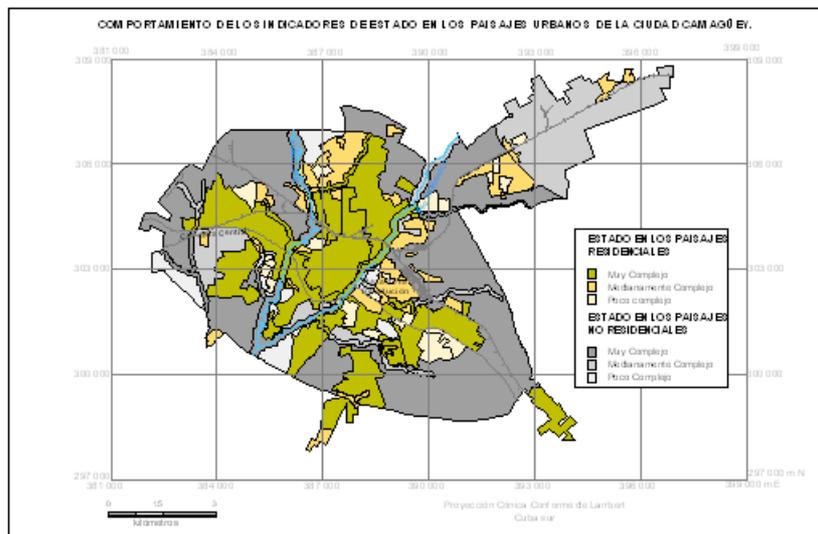


Figura 5. Mapa Comportamiento de los indicadores de Estado en los paisajes urbanos de la ciudad Camagüey. (Fuente: Elaborado por J. Primelles.).

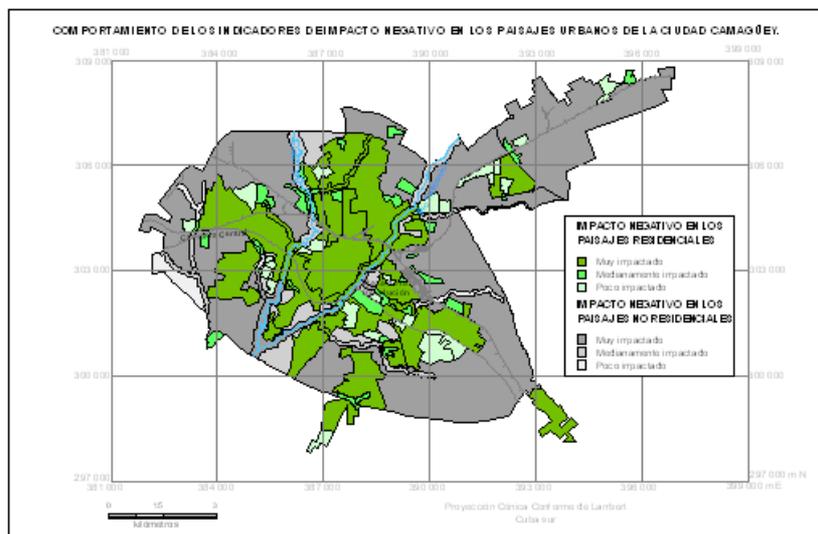


Figura 6. Mapa Comportamiento de los indicadores de Impacto en los paisajes urbanos de la ciudad Camagüey. (Fuente: Elaborado por J. Primelles.)

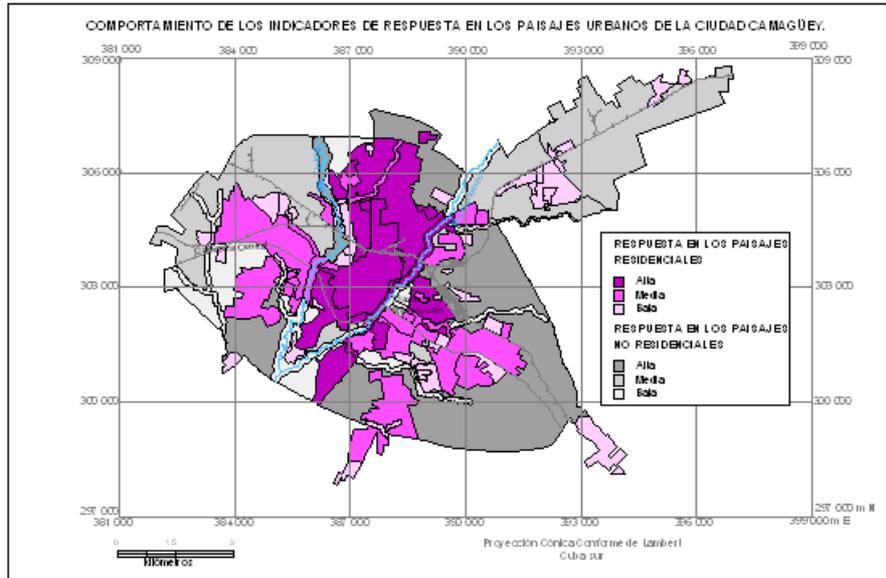


Figura 7. Mapa Comportamiento de los indicadores de Respuesta en los paisajes urbanos de la ciudad Camagüey. (Fuente: Elaborado por J. Primelles.)

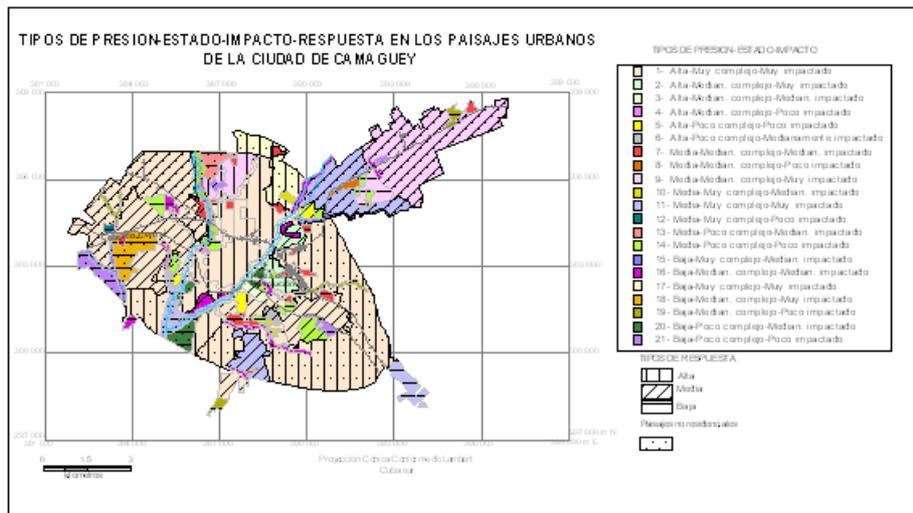


Figura 8. Mapa Tipos de Presión-Estado-Impacto-Respuesta en los paisajes urbanos. (Fuente: Elaborado por J. Primelles.)

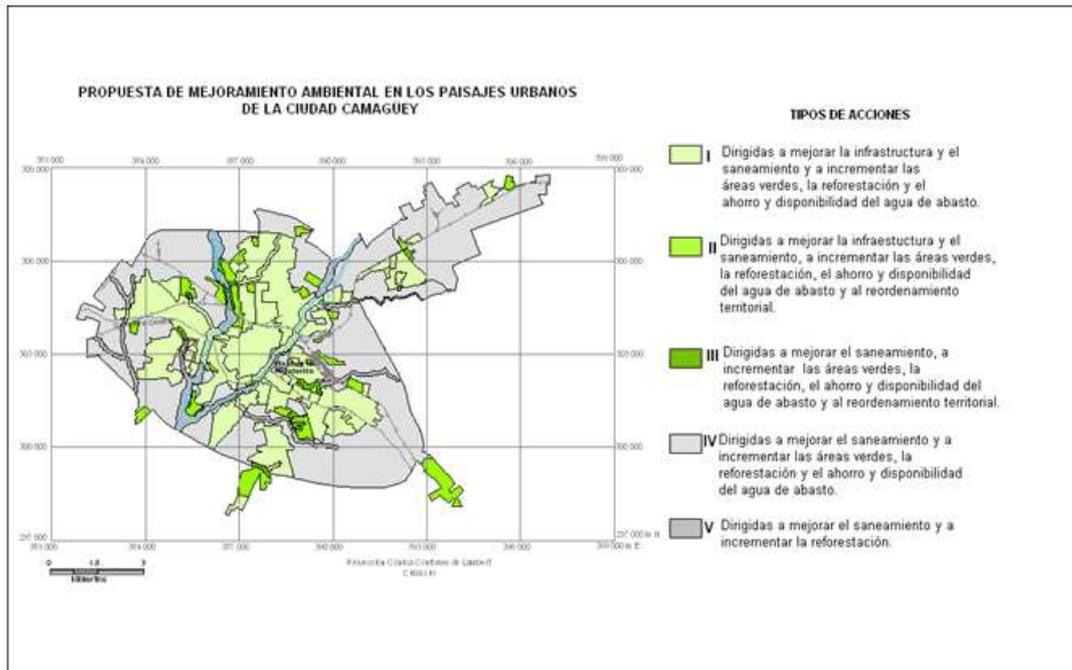


Figura 9. Mapa Acciones para el mejoramiento ambiental en los paisajes urbanos. (Fuente: Elaborado por J. Primelles.)