

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA EL EMBALSE LA PLATA

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Planificación
en Planificación Ambiental

Por
Roxana Rodríguez Coriano

15 de mayo de 2009

DEDICATORIA

*A esas personas...
Quienes me brindaron su apoyo incondicional
y extendieron su mano para
ayudarme a continuar
por este camino de desánimos.*

*A esas personas...
Quienes han pasado a ser parte de mi familia
gracias por estar ahí y por preocuparse,
sin ustedes no lo hubiese logrado.*

AGRADECIMIENTOS

A los miembros integrantes del comité de tesis: el Dr. Carlos M. Padín, Director del Proyecto de Planificación, la Sra. Yamira Valles y al Sr. Javier Vélez Arocho. Al personal técnico que labora en la Junta de Calidad Ambiental, en la Oficina de Gerencia y Presupuesto y en la Junta de Planificación de Puerto Rico.

A la señora Milka L. Miranda quien me ayudara en la edición y revisión del documento, así como en la presentación de este proyecto y al Sr. Arvin Flores, Planificador, por su gran ayuda técnica en la revisión de los análisis del sistema de información geográfica.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE APÉNDICES	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema	1
Problema de planificación.....	5
Justificación del proyecto de planificación.....	6
Meta y objetivos.....	7
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
Trasfondo histórico	8
Marco conceptual.....	11
Estudios de casos	15
Marco legal	19
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	25
Área de estudio	25
Fuente de datos	26
Diseño metodológico	27
Técnica de análisis	30
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	32
Análisis de los usos suelos.....	32
Análisis de los tipos de los suelos.....	33
Modelo de susceptibilidad	37
Revisión de PUTPR y usos vigentes.....	38
Análisis de la huella urbana	38
CAPÍTULO V: ESTRATEGIAS Y PLAN DE ACCIÓN	40
Estrategia 1.....	41
Estrategia 2.....	41
Estrategia 3.....	42
Estrategia 4.....	42
Estrategia 5.....	43
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
LITERATURA CITADA	48

ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA EL EMBALSE LA PLATA

POR

ROXANA G. RODRÍGUEZ CORIANO

PROYECTO DE PLANIFICACIÓN SOMETIDO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA EL GRADO DE

MAESTRÍA EN PLANIFICACIÓN
EN
PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

UNIVERSIDAD METROPOLITANA
SAN JUAN, PUERTO RICO
2009

APROBADA POR:



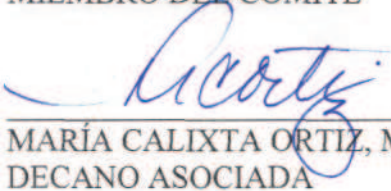
CARLOS M. PADÍN, PHD
DIRECTOR DEL PROYECTO DE PLANIFICACIÓN



YAMIRA VALLES, MS
MIEMBRO DEL COMITÉ



JAVIER VÉLEZ AROCHO, MS
MIEMBRO DEL COMITÉ



MARÍA CALIXTA ORTIZ, MSEM
DECANO ASOCIADA

15/05/09
DÍA/MES/AÑO

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Uso de suelo/Cubierta de suelo.....	55
Tabla 2. Usos propuestos en el PUTPR y usos actuales.....	56
Tabla 3. Consultas de ubicación.....	57
Tabla 4. Matriz del plan de acción.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del área de estudio.....	59
Figura 2. Mapa de los tipos de suelo.....	60
Figura 3. Mapa de la cobertura de suelo (2006).....	61
Figura 4. Mapa de usos de suelo (1977).....	62
Figura 5. Mapa de usos de suelo (1997).....	63
Figura 6. Mapa de usos de suelo (2007).....	64
Figura 7. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos.....	65
Figura 8. Sedimentación en el embalse La Plata.....	66
Figura 9. Mapa de la huella urbana (1980-2007).....	67
Figura 10. Gráfica de cambio de la huella urbana.....	68
Figura 11. Clasificación propuesta por el PUTPR y consultas de ubicación de la JP.....	69

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Modelo de susceptibilidad a deslizamientos.....	70
---	----

RESUMEN

La microcuenca del Embalse la Plata que transcurre por los municipios de Bayamón, Naranjito y Toa Alta ha evidenciado una disminución como abasto de agua debido a la sedimentación a través de los años. Se realizó un análisis físico-espacial de las condiciones naturales y antropogénicas para identificar los conflictos existentes en los usos de terrenos y cómo éstos han contribuido al problema de sedimentación del embalse. Se adaptó un modelo de la Oficina de Gerencia y Presupuesto para determinar los factores (pendientes, orientación, elevación y uso de suelo), que influyen en la susceptibilidad a deslizamiento. Este modelo pudo identificar áreas en la microcuenca de baja, mediana y alta susceptibilidad a deslizamiento. La huella urbana ha crecido un 59.61% para el año 2007 donde el 40.39% de la microcuenca ha sido impactada. Observamos un aumento de las áreas boscosas para el año 1977 de un 33% y en el año 2007 a 41% de áreas urbanas. En esta zona observamos los problemas de sedimentación asociados a los cambios en usos de terrenos. La huella urbana en la microcuenca aumento en un 80% del 1980 al 2007. El estudio presenta estrategias para identificar y proponer mejores usos de los suelos alrededor de la microcuenca para aumentar la vida del embalse y evitar pérdidas de infraestructura. Es imprescindible que los municipios estudiados tomen en consideración la implantación de estas estrategias para el mejor uso del suelo y el disfrute de las generaciones futuras.

ABSTRACT

The watershed of the dam “La Plata” which pass trough the towns of “Bayamón”, “Naranjito” and “Toa Alta” evidence a diminution of water reserve because of the sedimentation trough the years. A space-physical test was realized of the natural conditions and anthropogenic causes to identify the conflicts that exist in the use of land and how these contribute to the problem of sedimentation. A model was adapted from the office of management and budget to determine the factors (pending, orientation, elevation and use of soil), which is susceptibility to influences of slipping. This model could identify areas in the watershed of low, medium and high susceptibility of slipping. The urban track developed in a 59.61% to the year of 2007 where the 40.39% of the watershed were impacted. We observed an increased of the areas wooded in 1977 of a 33% and on the year of 2007 41% of urban areas. In this zone we observed the problems of sedimentation associated to the changes in the uses of land. The urban track in the watershed increase in a 80%, the years of 1980 to 2007. The analysis present strategies to identified and propose better uses of the soil around of the watershed to increase the life of the dam and avoid to loose the infrastructure. It is very important that the towns commit to consider the implementation of these strategies to the better use of the soil and convenience of future generations.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

El agua es un recurso natural fundamental para el sustento de los ecosistemas terrestres, la supervivencia, la sostenibilidad y el crecimiento de la humanidad. Este recurso no sólo constituye la más básica de las necesidades, sino que también es el eje del desarrollo sostenible (Toepfer, 2006). A pesar de que el agua se considera un recurso renovable, sin el manejo adecuado de la contaminación puede causar la reducción de la calidad y la disponibilidad para consumo humano.

En Puerto Rico los recursos hídricos están formados por acuíferos y embalses que son la fuente de abasto de agua vital que sostiene la disponibilidad actual. Un embalse es la acumulación artificial de agua en un ambiente natural, creado por los seres humanos para recoger agua para uso y consumo humano (Adler, 2006). Los embalses son la fuente principal del agua que produce la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) y en las últimas décadas han sido afectados por la extracción excesiva del recurso agua debido a la demanda creciente del recurso para el desarrollo social y económico. Esta situación ha provocado la escasez y la ineficiencia en su aprovechamiento, disminuyéndose considerablemente la calidad y la capacidad de los abastos de agua para consumo humano (DRNA, 1996). Según el USGS (2007), la tasa de sedimentación que ocurre aceleradamente debido a los sedimentos que se depositan producto de la erosión es otro factor identificado que afecta a el embalse ya que éstos reducen el rendimiento seguro, la capacidad de almacenaje para consumo de la población y su vida útil.

Los problemas ambientales que enfrentan los embalses y los recursos de agua están relacionados a la degradación, aprovechamiento y uso ineficiente, al déficit en la disponibilidad en áreas particulares, a las limitaciones para el desarrollo de nuevas fuentes de abasto, a la falta de controles en el uso de los terrenos y un manejo adecuado de los recursos naturales de las cuencas hidrográficas (Frers, 2008). Algunos estudios indican que el uso del suelo en los terrenos localizados en las áreas adyacentes a los cuerpos de agua está relacionado a las actividades que se efectúan en el terreno y al impacto de las mismas sobre la calidad y la disponibilidad del recurso agua. La deforestación para dar paso a las construcciones urbanas y a la infraestructura que ésta requiere tiene consecuencias directas relacionadas a la erosión de los suelos y a los procesos de sedimentación sobre el recurso de agua (DRNA, 2006).

Por otro lado, el sistema hidrológico de la isla está influenciado por las crecidas drásticas durante la época de lluvia que está acompañado por las altas concentraciones de metales pesados y turbiedad. El clima es húmedo tropical y su topografía montañosa también contribuyen a los altos niveles de sedimentación sobre los cuerpos de agua. Las aguas de escorrentías lavan las pendientes y las áreas expuestas por las construcciones, lo que provoca el depósito de los sedimentos arrastrados aguas abajo y la reducción de la capacidad de almacenaje de los embalses. A su vez, el transporte de los sedimentos interfiere con las operaciones de tratamiento de las aguas, esto conlleva un aumento en el costo de la remoción en el exceso de la turbidez del agua para consumo humano.

A pesar de que la erosión es un fenómeno geológico natural causado por el desprendimiento de partículas del suelo a causa de la acción del agua o el viento, la combinación de varios factores como los suelos empinados o pendientes empinadas, las

condiciones del clima, las lluvias intensas, periodos de sequía, el tipo de cubierta vegetal, las características del tipo de suelo, el mal uso o la utilización extensa de los terrenos contribuyen a que las tasas de erosión y sedimentación sean cada vez más altas. El uso intensivo de los suelos para las actividades urbanas aceleran los procesos de erosión cerca de los cuerpos de agua, las partes altas y en las zonas de recarga poniendo en peligro la calidad del agua de las cuencas hidrográficas. Las cuencas hidrográficas de la isla son: Río Grande Loíza, Río La Plata, Río Piedras-Río Puerto Nuevo, Río Guaynabo-Río Bayamón, Río Cibuco, Río Grande Manatí, Río Grande de Arecibo y Río Guanajibo (González, 2005; Lugo et al., 1974; Soler, 2001).

Los datos existentes y disponibles sobre la calidad de las aguas superficiales tienden a indicar que una parte de las violaciones en los estándares de calidad de agua son el resultado del lavado de los suelos descubiertos para el uso agrícola y por el movimiento de los terrenos causado por las construcciones. Los picos de contaminación parecen ser el resultado de la re-suspensión de sedimentos acumulados en los ríos. Los mimos demuestran una pobre calidad del recurso en muchos de los cuerpos de agua del país. En los Informes 303(d) y 305(b) realizados por la Junta de Calidad Ambiental del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (JCA) y en el *Water Resources Data for Puerto Rico* del Servicio Geológico Federal (USGS, por sus siglas en inglés) del año 2003 establecen que los problemas principales relacionados a la calidad de las aguas superficiales se debe a la presencia de bacterias de origen fecal, nutrientes y sedimentos suspendidos. Las concentraciones de estos contaminantes en la mayor parte de los segmentos de los ríos, quebradas y embalses estudiados exceden los parámetros establecidos para los estándares de calidad de agua, tanto locales como federales.

Ante dicha situación que atraviesan los embalses para fuente de abasto de agua potable, las agencias ambientales concernientes al manejo y a la administración del recurso agua: el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), la Junta de Calidad Ambiental (JCA) y la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) se han visto obligadas a crear planes, según lo establecido por las leyes y los reglamentos ambientales vigentes para garantizar la disponibilidad del recurso para la generación presente y futura debido a la creciente demanda del recurso.

Como parte de este estudio se seleccionó una microcuenca de la cuenca hidrográfica del Río La Plata, el Embalse La Plata, la cual localiza al norte de la cuenca y fluye por los municipios de Bayamón, Naranjito y Toa Alta. La cuenca hidrográfica del Río La Plata está clasificada “SD” por la JCA. Esta clasificación significa que las aguas superficiales son para el uso de agua potable, la propagación, la preservación de especies, uso recreativo de contacto primario y secundario. Actualmente esta cuenca hidrográfica y sus tributarios experimentan un cambio acelerado de un área rural a un crecimiento urbano.

El propósito del estudio es realizar un análisis de la condición actual de las áreas cercanas a la microcuenca seleccionada e identificar aquellas áreas frágiles que pudieran ser conservadas y protegidas, tomándose en consideración lo propuesto en el Borrador del Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico del año 2006. Es fundamental realizar un estudio a través del tiempo sobre los usos de los suelos y de cobertura del suelo de modo que permita identificar los cambios y analizar los efectos positivos y negativos que se hayan generado. La información actualizada será de suma importancia para examinar las tendencias territoriales y establecer los posibles cursos de acción a seguirse en el área

bajo estudio en la microcuenca hidrográfica del Embalse La Plata, así como implantar una rigurosa regulación en el uso del recurso suelo para garantizar la disponibilidad del recurso agua para las futuras generaciones.

Problema de planificación

Las prácticas en los usos de suelo en Puerto Rico han cambiado a través de los años. Durante la época de la agricultura (entre los años 1930 y 1950) menos del 5% de la isla estaba forestada. En ese tiempo la economía se transformaba de una agrícola a una industrial. Como resultado ocurrió una disminución en el suelo agrícola y un incremento en áreas de bosques secundarios, tierras urbanas y construcciones para el desarrollo urbano. Esto provocó una reducción de los suelos con valor agrícola e incrementó la erosión de los suelos y como resultado la sedimentación en las reservas de agua causando un problema ambiental mayor (Dietz, 1989).

En un estudio realizado por la AAA (2003) indicó que para el año 1998 el Embalse La Plata obtuvo una reducción en el volumen de 35.46 millones de metros cúbicos. Señaló además que para el año 2025 el embalse tendrá un almacenaje de 30.1 millones de metros cúbicos de un rendimiento seguro de 34.5 millones de metros cúbicos. Esta pérdida en su capacidad de volumen constituye un 12%, lo que significa que el embalse perderá su función principal como abasto de agua en el futuro (Soler et al., 2000).

La microcuenca del Embalse La Plata, seleccionada para este estudio, comprende 4,868.714 acres. La misma sufre una acelerada eutroficación y reducción de oxígeno debido al constante aumento de los nutrientes de fuentes dispersas. Estos contaminantes

proviene de las prácticas de agricultura y las cantidades extremas de sedimentos son el producto del desarrollo urbano que causa la reducción de almacenamiento del embalse (USEPA, 2003).

Justificación del proyecto de planificación

Ante la ausencia de la aplicación de un plan de uso de terreno a nivel isla y de planes de ordenación territorial en los terrenos donde localiza la microcuenca tampoco se aplican estrategias para el ordenamiento del desarrollo de éstos. Es por esta razón que se requiere de un plan basado en estrategias de manejo del recurso de agua para esta área y que se garantice la capacidad de almacenaje de la reserva de agua potable para la población actual y futura. Éstas deben estar fundamentadas en las políticas públicas ambientales aplicables y que se utilicen como herramientas de planificación adecuadas, para lograr una rigurosa y óptima regulación del uso y manejo de los recursos agua y suelo.

Mediante la Ley Número 550 del 3 de octubre de 2004 se instituye la Ley para el Plan de Uso de Terrenos del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (PUTPR) que define la política pública para crear la Oficina del Plan de Uso de Terrenos adscrita a la Junta de Planificación (JP). Conjuntamente, autoriza la designación de un Consejo Asesor para que disponga de los requisitos y procesos para la elaboración, aprobación e implantación del plan. A este tenor, permite establecer el procedimiento de inventario de los recursos naturales, el procedimiento para declarar áreas de reserva a perpetuidad, así como las disposiciones relacionadas con los Reglamentos de Zonificación Especial, entre otros.

Al momento de aprobar proyectos en las cercanías del Embalse La Plata, la

clasificación de los usos de los suelos está en conflictos con los usos actuales. La misma no ha sido considerada para la conservación y protección de los mismos; tampoco los problemas relacionados a la reducción de la capacidad de almacenaje a causa de la sedimentación a la que por años el embalse ha estado expuesto.

Con la realización de este estudio se pretende evaluar el origen del deterioro e impacto ambiental causado por los usos actuales del suelo y por el crecimiento urbano. Además, se examina el tipo de suelo de los terrenos adyacentes a la microcuenca. Se presentan estrategias para mejorar la calidad y la disponibilidad del recurso agua mediante la regulación del uso de los suelos para prevenir que continúe el detrimento de esta fuente de abasto para agua potable. Por esta razón, es meritorio tener la información del estado actual del uso de la tierra y su influencia sobre el embalse. De igual modo que se consideren las estrategias propuestas en este proyecto en la aprobación final del PUTPR.

Meta

Desarrollar estrategias de manejo en el Embalse La Plata para atender los problemas de sedimentación provocados por el desarrollo urbano.

Objetivos

1. Analizar los cambios y tendencias en usos de los terrenos en la microcuenca para observar su impacto en el embalse.
2. Evaluar los patrones de desarrollo para la generación de estrategias futuras.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

Estudios realizados por el USGS en el año 1998 reflejan que luego de 24 años, el Embalse La Plata ha perdido capacidad de almacenamiento a una tasa de sedimentación de unos 200,000 m³/año. La tasa de sedimentación del embalse La Plata tiene una eficiencia de captura de un 87% con una tasa de sedimentación 483 m³/km²/año con un volumen perdido de 422 m³/km²/año. El déficit actual de agua del embalse es de 32.5 millones de galones por día (mgd) y para el año 2030 se proyecta que aumentará a 71.31 mgd. Esto significa que con el aumento acelerado de la sedimentación el embalse tendrá una media vida para el año 2076. Este embalse tiene un área de desagüe de 181.0 millas cuadradas. Originalmente, la reserva tenía una capacidad de almacenaje de 43.9 millones de metros cúbicos, pero para el año 1998 la capacidad se redujo a 35.5 millones de metros cúbicos. Durante el año 1995, la planta de filtración Enrique Ortega produjo 42 millones de galones por día, equivalente a 159 millones de litros por día para servir a una población total de 350,000 personas. De acuerdo a los datos del censo hasta el año 2000, la población dentro de la microcuenca es de 19,159.00 habitantes (AAA, 2003; Censo, 2003; Soler, et al., 2000).

En el año 2005, el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) propuso un proyecto para prevenir la erosión, reducir la escorrentía y los sedimentos que afectan el Embalse La Plata y sus tributarios con el fin de proteger y mantener los recursos como base para la sostenibilidad de la producción. Como parte de

la implementación de esta iniciativa se espera reducir el 52% de sedimentos de manera que se logre el mejoramiento en la calidad de agua del embalse. El desarrollo rural en los alrededores del embalse y los programas de cooperativismo por sí sólo no son adecuados para reducir los problemas que atraviesa la microcuenca en un tiempo razonable ni para prevenir el deterioro de la calidad de agua. Se estima que 552,694 toneladas al año de sedimentos provenientes de diferentes puntos llegan al embalse. Esta sedimentación implica un costo anual de \$154, 754. Asimismo, la cantidad de sedimento removido de la carretera se reduciría de 233,512 toneladas anualmente a 130,767 toneladas equivalentes a un 56%. Como resultado se obtendría un ahorro anual de \$36,615 en el mantenimiento de las carreteras. El daño de la erosión se reduciría en un rango anual promedio aceptable.

La Agencia de Protección Ambiental Federal (USEPA, por sus siglas en inglés) le otorgó a la Junta de Calidad Ambiental (JCA) fondos y asistencia técnica para atender los problemas crecimiento de jacintos, eutroficación acelerada causada por la contaminación de fuentes difusas, sedimentación extrema que reduce la capacidad de almacenamiento, disminución de oxígeno y problemas de bacterias que exceden los estándares de calidad de agua. A estos efectos, se recibió fondos del programa de lagos limpios para el año 1981 que permitió realizar el diagnóstico y estudios del Embalse La Plata y su cuenca.

Dicho estudio determinó la condición y las causas del origen de la contaminación de la cuenca hidrográfica. Posteriormente, se presentaron recomendaciones y posibles soluciones para autorizar la restauración y la protección de la calidad de agua del embalse. La primera fase de los trabajos realizados se enfocó en los problemas relacionados a los jacintos, en las mejoras al sistema de alcantarillado y en las mejores

prácticas de manejo de las fuentes difusas. En los años 1986 al 1991 se otorgaron fondos para la fase dos del programa que consideraría las recomendaciones presentadas en la fase uno y se establecerían actividades de manejo para controlar los problemas de fuentes difusas en la cuenca. Además, se incluyó la educación a los granjeros, inspecciones a las actividades de agricultura y la construcción de una planta de proceso de abono de gallinas. Este abono se venderá a los centros de jardinería como fertilizante como un esfuerzo cooperativista.

La USEPA en el año 2003 realizó un estudio de calidad de agua en la cuenca hidrográfica de La Plata el cual señaló la necesidad de reducir a un 79.1% las colonias fecales. Se utilizó un modelo de tratamiento de la cuenca para cuantificar la cantidad de diversos contaminantes causada por las fuentes difusas y su contribución a cada subcuenca y microcuenca. Dicho modelo permitió cuantificar bacterias de coliformes fecales basado en el uso de suelo y precipitación. Aunque el modelo utilizado no ofrece suficientes datos de manera que permita trabajar con modelos más complejos, los resultados obtenidos del Embalse La Plata arrojaron un total de $2,373 \times 10^{12}$ al año en las áreas urbanas y $22,732.2 \times 10^{12}$ al año de fuentes difusas.

Las recomendaciones señaladas como parte del estudio indicaban establecer un plan de monitoreo de contaminantes de fuentes de contaminación dispersas y no dispersas y las mejores prácticas de manejo para las actividades de construcción de áreas urbanas y agricultura. A pesar de las recomendaciones ofrecidas y de los hallazgos obtenidos concernientes a los problemas ambientales a los que la microcuenca está expuesta, no existe un manejo eficiente ni existe a nivel institucional y municipal esfuerzos que permitan alcanzar una gestión coordinada e integrada de los recursos en esta área.

Marco teórico

Teoría de planificación

La planificación es una actividad técnica y política dirigida a guiar las transformaciones sociales, económicas y físicas espaciales del entorno. El componente técnico va dirigido a ciertas destrezas necesarias y el componente político está guiado por los valores y los preceptos sociales que guían su naturaleza. Ésta es multidisciplinaria porque es un reflejo del entorno que atiende diferentes dimensiones: dentro de un contexto político, económico, cultural y físico. Se caracteriza por planificar para múltiples sectores y para un entorno cambiante y dinámico. Desde el punto de vista teórico la planificación se apoya en varios conceptos medulares como por ejemplo: eficiencia, eficacia, racionalidad (social y de mercado) y la equidad (E. Martínez, Profesor Teoría de Planificación, com. personal).

Es importante desatacar los conceptos de racionalidad social versus racionalidad del mercado. La racionalidad social se fundamenta y busca alcanzar el bien común, mientras que la racionalidad del mercado responde a las variaciones económicas muchas veces sin tomar en consideración el bienestar social. Es por esto importante que la planificación se dé dentro de un marco de movilización social ya que la información fluye hacia las bases sociales y ayudaría a las comunidades en la toma de mejores decisiones con relación a los problemas que afectan su entorno. Por ejemplo, Etzioni menciona que los procesos de transformación se dan si se proveen guías que dirijan a la sociedad en la toma de decisiones. Etzioni identifica dos tipos de actores en los procesos de planificación los pasivos y los activos. Los pasivos no tienen acceso a información y los activos tienen acceso y pueden tomar decisiones más lógicas de su entorno. Mediante

la toma de decisiones se establecen paradigmas teóricos donde se utiliza la planificación como un instrumento de una movilización social ya que se consideran las masas en el intercambio de información y su participación en la toma de decisiones para alcanzar el bien común (Hudson, 1979).

El modelo de planificación participativa de Davidoff considera la multiplicidad de intereses en un entorno y define para quién se planifica ya que las comunidades son heterogéneas. Este modelo reconoce que es a través de la participación ciudadana que se logra el cambio social dentro de un marco de equidad y sentido de pertenencia reconociendo la justicia social. Por otro lado, el modelo de planificación transaccional de Friedman por su parte se enfoca en el flujo de información entre el planificador y las masas he identifica al planificador en el rol de mediador y negociador (Stiftel, 2000).

La planificación con base comunitaria brinda la oportunidad de un desarrollo sostenible ya que se rige por la justicia social, el crecimiento económico y la preservación de los recursos naturales.

Desarrollo sostenible

El marco conceptual también está relacionado a los principios sugeridos al desarrollo sostenible de los usos de terrenos en las cuencas hidrográficas, así como en el manejo integral de cuencas. El desarrollo sostenible del área está enfocado en aumentar la vida útil del embalse y atender las necesidades del lugar. La implantación de las estrategias de manejo sostenible es fundamental para el control de la erosión y la sedimentación mediante la incorporación de alternativas y de elementos claves para el manejo en el uso y desarrollo de los suelos que localizan en la periferia del embalse. Se

fomenta de este modo el aprovechamiento eficiente del embalse, se reduce la necesidad de nuevas fuentes de abasto y evitándose así los costos sociales y ambientales elevados asociados a los proyectos que conllevan un aumento en la disponibilidad del recurso agua (DRNA, 2006).

En este contexto, se puede lograr la sostenibilidad del embalse, de los recursos naturales y su entorno. Es por esto que se requiere establecer estrategias y técnicas que enfatizan los siguientes aspectos: usos del suelo regidos por un plan maestro de los usos de terrenos para preservar la cuenca hidrográfica y sus tributarios; diseño y aplicación de técnicas para aminorar la erosión de las pendientes alrededor de la microcuenca; evaluar y establecer medidas de mitigación para los impactos causados por los usos de suelo a través del tiempo. El movimiento de terreno y de la escorrentía asociado a las actividades de la construcción, el tipo de suelo, la lluvia y los diversos usos en el área se han convertido en las fuentes potenciales de contaminación y de sedimentación. Las estrategias de manejo elaboradas para el embalse incorporan medidas de uso de terrenos, tal como la designación de áreas críticas para la protección del recurso y medidas estructurales.

Planificación y manejo de cuencas

Este proyecto se enfoca en el ordenamiento territorial de la microcuenca mediante la aplicación de un modelo para la conservación de los suelos. A la vez, considera acciones dirigidas a controlar la erosión para proteger el abasto de agua del embalse (World Vision, 2000). Mediante este proyecto se evaluaron los usos que se dan alrededor del embalse y se determina de qué forma se puedan integrar a los cambios de desarrollo

socio-económico del lugar sin afectar el abasto de agua del embalse.

Como propósito de este proyecto se plantea lograr un uso y aprovechamiento eficiente del embalse, se propone utilizar técnicas para las mejores prácticas de manejo del terreno que garanticen la protección del recurso (barreras vegetativas, zona de amortiguamiento, etc.) y para establecer controles y la aplicación de los reglamentos aplicables como el Plan CES, entre otros. De modo que ayude a disminuir la erosión en la microcuenca.

Consciente de los patrones del uso de los terrenos que impactan y afectan la calidad y la disponibilidad del recurso de agua, se trata de diseñar un conjunto de estrategias sencillas que se fundamenten con las instrucciones de clasificación del embalse para un mejor uso y desarrollo del área de manera que se logren beneficios social, económica y ambientales. El manejo del suelo alrededor de la microcuenca debe garantizar la disminución en la sedimentación del embalse producida por la erosión y llevados al embalse por la escorrentía. Asimismo se debe prevenir el crecimiento urbano mediante la creación de regulaciones más rigurosas para el uso y salvaguardando las áreas sensitivas de los desarrollos urbanos y asentamientos humanos (Chiras, 2001).

Estudio de casos

Análisis espacial del uso de la tierra en la cuenca del Río Turrialba, Costa Rica

En este caso se realizó un análisis físico espacial para identificar los factores físicos, naturales y socioeconómicos que influyen en el uso del suelo que localizan en la cuenca. La herramienta del sistema de información geográfica, así como la utilización de fotografías e imágenes de satélite permitieron elaborar la base de datos y determinar los diferentes usos de suelos, los cuales fueron agrupados por categorías (áreas de pastos y boscosas, usos urbanos y otros). Además, la aplicación de un modelo de regresión logística multinominal permitió ayudó a demostrar que el uso de los suelos es el resultado de una combinación de diversos factores (tipo de suelo, tamaño de los predios, etc.). De acuerdo a los hallazgos se demostró que las fotografías aéreas tienen un 67% de eficiencia en la predicción de cambios de uso de los suelos y las imágenes de satélite un 61%. Este estudio reconoce la ventaja de utilizar fotografías aéreas ya que permite realizar muestreos con un buen nivel de objetividad (Méndez et al., 2004).

Plan de manejo del lago Brighton, Michigan

En el año 2002 se implantó un plan de manejo para restaurar y proteger la calidad del agua del área a largo plazo. La meta estaba dirigida en alcanzar el máximo total diario de agua del lago ya que el lago está contaminado por el arrastre de sedimentos pendiente abajo a causa de la escorrentía. Estos contaminantes arrastrados por las escorrentías son compuestos de fósforo y nitrógeno, además contienen sedimentos que disminuyen la calidad del recurso y ponen en peligro el abasto de agua potable. Este plan de manejo formó un grupo de trabajo integrado por las comunidades, agencias, negocios

con intereses claves y ciudadanos con el propósito de desarrollar un plan comprensivo para el manejo de la subcuenca. Este grupo estableció cinco mejores prácticas de manejo como estructuras o barreras físicas para el control y mitigación de las escorrentías en tiempos de tormentas. Además, para mitigar el total máximo diario se utilizaron modelos costo eficiente mediante la implementación de pastos, humedales, infiltración, charcas de retención biológica, la planificación basada en la conservación, la revisión y adopción de estándares. Otras estrategias fueron enfocadas en la restauración del cuerpo de agua y en la educación ambiental mediante la otorgación de incentivos y de becas para actividades o proyectos dirigidos a la protección del lago (Michigan Department of Environmental Quality, 2002).

Modelo SWRRB para diseñar estrategias de manejo en la cuenca Itzapa, Guatemala

Se aplicó un modelo de simulación hidrológica SWRRB en el año 2001 para la cuenca que tiene una extensión de 2, 671 ha. La misma fue dividida en nueve subcuencas tomándose en consideración el uso del suelo, la altimetría y las características topográficas. De los resultados obtenidos, se encontró que este modelo puede ser una herramienta útil para predecir las producciones de agua y de sedimentos en una cuenca hidrográfica, siempre y cuando se tengan los datos de escorrentía que permitan realizar la calibración y la validación del modelo. Como parte de las recomendaciones se propuso restauración de los espacios y de los suelos urbanizados con áreas verdes con bosques densos o abiertos, siembras de algunos cultivos como el maíz y labranza de conservación y construcción de acequias, entre otras (Maldonado et al., 2001).

Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal de la cuenca del Río Santa Lucía, España

Las intensas transformaciones que el paisaje rural del territorio ha experimentado y la sustitución de especies forestales por otras ha provocado la alteración significativa de las condiciones geomorfológicas de los espacios. Estas transformaciones han favorecido los procesos erosivos vinculados a la circulación superficial del agua y los movimientos en masa. Se utilizó el modelo USLE para evaluar esta situación, el mismo constituye una de las principales herramientas capaz de estimar la tasa de erosión promedio en un territorio y se aplica al sistema de información geográfica para comparar los cambios en el suelo. Sin embargo, debido a las limitaciones que presenta USLE en terrenos de fuerte pendiente se recomienda ajustar la ecuación a cada situación y espacio en particular, así como considerar una serie de variables o criterios que no son consideradas en la aplicación del modelo. Se trabajaron tres valores de erosión: TES, TE y T en donde para cada uno se le distribuyeron recomendaciones de manejo. En el TES se consideró que no existía vegetación y la reducción de contenido de materia orgánica en el suelo. En la variable TE se empleó técnicas de labranza menos agresivas que aportarían una mejoría al suelo del TES. En el caso de T se demostró que una cobertura vegetal representa poca o ninguna erosión del suelo (Edeso et al., 1997).

Proyecto para la conservación y el desarrollo sostenible para la cuenca del Río Savegre, Costa Rica

El estudio realizado es un ejemplo de cómo evaluar a los habitantes en las áreas aledañas a la cuenca, siendo ellos los actores y principales modificadores de su entorno por sus diversas actividades antropogénicas sobre la cuenca (Romero, 2002). Lo que

provoca un efecto positivo o negativo sobre los recursos naturales poniéndolos en riesgo debido al desarrollo de las actividades relacionadas al uso de la tierra y el potencial de éstas tengan para sobrellevar los diferentes usos sobre el territorio. Se utilizaron los mapas a una escala 1:25,000 y el mapa de capacidad de uso de las tierras creado por el ministerio de agricultura y ganadería. Se le trabajó con la susceptibilidad de los suelos a la erosión, que a pesar de que es un proceso natural se multiplica en las zonas con mayor intervención humana. Junto al sistema de información geográfica (SIG) para predecir la erosión y otras técnicas para determinar la ruta de los sedimentos, se identificaron las principales fuentes que originan el sedimento en el área bajo estudio.

Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Honduras

Este estudio se realizó para estimar el riesgo y la vulnerabilidad a deslizamientos y a inundaciones mediante la aplicación de un modelo hidrológico e hidráulico. Además, se integró un análisis espacial de la vulnerabilidad y las áreas críticas, así como la jerarquización de zonas con mayor riesgo. Los resultados obtenidos indicaron una alta vulnerabilidad en la microcuenca para inundaciones con un 64.6% y a deslizamientos con un 68.6%. Por lo que se recomendó la implementación de un programa de prevención de desastres y la gestión de riesgo basado en iniciativas que fomenten cambios estructurales a nivel institucional, ordenamiento del territorio y manejo de cuencas. El estudio concluye que la información contenida en los mapas y en la cartografía es una herramienta de planificación útil. No obstante, al momento de diseñar obras se requieren mapas con escalas más precisas y que ofrezcan mayor detalle (Salgado et al., 2006).

Marco legal

La protección de los recursos naturales en el contexto legal recae bajo la responsabilidad de la política pública del DRNA como la agencia encargada de custodiar las aguas territoriales y los terrenos sumergidos. Al amparo de la Ley Núm. 23 del 20 de junio de 1972, Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (3 LPRA §§ 151 et seq.) se implanta la fase operacional de la política pública ambiental y la facultad de coordinar las funciones de manejo del recurso agua dispersas en diferentes agencias, a través de la Ley Núm. 136 del 3 de junio de 1976 (12 LPRA §§ 1115 et seq.), Ley para la Conservación, el Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua, mejor conocida como Ley de Aguas de Puerto Rico del año 1976.

Mediante esta ley se le otorgan facultades al Secretario del DRNA relacionadas al manejo de los recursos de agua. Éste tiene la autoridad de preparar y adoptar un plan integral para la conservación, el desarrollo y el uso de los recursos de agua en consulta con un Comité de Recursos de Agua establecido por ley. El plan precisará los usos actuales de los cuerpos de agua y proyectará el uso futuro del recurso. Esta agencia otorga concesiones o autorizaciones para la ocupación o colocación de estructuras en estas áreas.

Además, es responsabilidad de la agencia estar pendiente de la extracción del material de la corteza terrestre y los dragados para los permisos relacionados de los embalses. El DRNA aprobó el Reglamento Núm. 2305 del 10 de octubre de 1997 titulado Reglamento para Regir la Extracción de Materiales de la Corteza Terrestre. Mediante dicho reglamento se exige un permiso para extraer materiales de la corteza terrestre conjuntamente a una evaluación de impacto ambiental de ser necesaria en

algunos casos. Este reglamento se derogó por el Reglamento Número 6916 para regir la extracción, excavación, remoción y dragado de los componentes de la corteza terrestre.

La Ley Núm. 132 del 25 del julio de 1968 (28 LPRA §§ 206-220f), Ley de Arena, Grava y Piedra, se creó para reglamentar la extracción de cualquier material de la corteza terrestre para uso comercial y que no esté reglamentado como mineral económico. Este reglamento debe velar por evitar que en los terrenos inmediatos al embalse aumente la erosión en el área.

La Ley Núm. 133 del 1º de julio de 1975 (2 LPRA §§ 191-204), Ley de Bosques de Puerto Rico, enmendada, del DRNA es un mecanismo legal que interviene en la conservación y en la protección de los recursos naturales. La política pública se adopta en cuatro áreas de trabajo que determina el Servicio Forestal. Mediante la cual se establece que los bosques están protegidos por ley y reconoce que estos ecosistemas naturales además de proveer servicios ambientales ayudan a conservar el suelo de la erosión, protegen las cuencas hidrográficas productoras de agua, entre otros grandes beneficios.

La JP fue creada por la Ley Núm. 213 del 12 de mayo de 1942 (23 LPRA §§ 62 et seq.) con el fin de guiar el desarrollo integral de Puerto Rico. A través de esta ley se promueve el uso eficiente de las tierras y de los recursos naturales a través de implementación del desarrollo social, económico y físico del país, sin agotar sus recursos naturales. Es la agencia designada y encargada por la Ley Núm. 550 del año 2004 de preparar el Plan de Uso de Terrenos para Puerto Rico (PUTPR). Esta está facultada para regular la zonificación y el uso de los terrenos en la isla mediante dicha ley la cual crea el plan los usos de los terrenos en la isla.

El Reglamento Núm. 4 de la JP, Reglamento de Zonificación, dicho reglamento se creó para guiar y controlar el uso y desarrollo de los terrenos en áreas urbanas. Además, establece varios distritos de zonificación para los terrenos y para cada uno de ellos existen las disposiciones específicas sobre el uso, las obras y las estructuras permitidas. El propósito de estos distritos es proteger y preservar los recursos. Aunque la Administración de Reglamentos y Permisos (ARPE) concede los permisos de construcción, la JP emite consultas de ubicación para el asentamiento de algunos tipos de proyectos o en áreas no zonificadas. ARPE es la entidad responsable de implementar, además de sus propios reglamentos, todos los reglamentos referentes al desarrollo, subdivisión y uso de terreno.

La Ley Núm. 81 del 30 de agosto de 1995 (21 LPRA §§ 201-240), conocida como la Ley de Municipios Autónomos, le otorgan a los municipios tienen poderes para controlar el uso de los terrenos bajo su jurisdicción. La misma constituye un mecanismo legal y una herramienta de planificación que provee para proteger el ambiente a través de los usos de terrenos. La ley faculta a los municipios a adoptar Planes de Ordenamiento Territorial y planes para la protección del ambiente de los recursos de agua superficiales y subterráneos, así como de su cuenca colindante a los sistemas ecológicos, hábitat de fauna y flora, otros sistemas y recursos naturales con valor ecológico.

El Reglamento de Siembra, Corte y Forestación para Puerto Rico, Reglamento Núm. 25 de la JP y DRNA del 24 de noviembre de 1998, fomenta la conservación de los ecosistemas productores de aguas y la restauración de los mismos mediante la reforestación. Este reglamento es un mecanismo de protección en las cuencas hidrográficas.

El Reglamento Núm. 5753 del 30 de diciembre de 1997, Reglamento para el Control de la Erosión y Prevención de la Sedimentación de la Junta de Calidad Ambiental (JCA), se establece para inspeccionar los proyectos que requieren movimiento de terreno de modo que se pueda controlar la erosión y la sedimentación con el fin de proteger la integridad de los cuerpos de agua contra la contaminación de dichos proyectos. Incluye las actividades que conllevan desmonte, relleno, nivelación, excavación, remoción de cubierta vegetal de los suelos, construcción o demolición de estructuras, extracción, almacenaje, amontonar, crear montículos o disponer de terreno e incluso material de dragado o cualquier otra actividad que altere las condiciones naturales del terreno. Cualquiera de estas actividades requiere un permiso, conocido como Permiso CES para el control de la erosión y la prevención de la sedimentación. Este se conjunta con la Ley Núm. 211 del año 1946, ley de distrito de conservación de suelos que faculta al Departamento de Agricultura llevar a cabo investigaciones y experimentos relacionados a la conservación de los suelos, prevención y controles de erosión.

El Reglamento de Normas de Calidad de Agua de la JCA, Reglamento Núm. 6616 del 14 de mayo de 2003, éstos son guías para la Asignación de Cargas de Contaminantes y el Certificado de Calidad de Agua (CCA) general para descargas de agua de lluvia asociadas con actividades industriales que mediante la implantación de éstos la JCA se encarga de prevenir la contaminación de las aguas y están dirigidas al pretratamiento de las aguas antes de ser descargadas al sistema público. Estos permisos se requieren para todo proyecto de construcción que conlleve la remoción de capas de suelo o movimiento de tierra afectando a más de 1 acre a los embalses. Los controles principales requieren que se evite la erosión del terreno y movimientos de sedimentos a

los cuerpos de agua.

Por otro lado, la Ley Núm. 267 del 10 de septiembre de 2004, conocida como Ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible, establece que el desarrollo de Puerto Rico se debe fundamentar en una economía sostenible y un desarrollo balanceado en armonía con el desarrollo socio-económico y ambiental. La restauración, la protección del ambiente y los recursos naturales, el mejoramiento de la calidad de vida de los puertorriqueños y las metas económicas, sociales y ambientales estén unificadas dentro del contexto de sostenibilidad considerándose la condición insular.

Entre las leyes federales mediante sus agencias está el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USCOE, por sus siglas en inglés) que se encarga de los permisos en embalse bajo las Secciones 9 y 10 de la ley de ríos y puertos del 3 de marzo de 1899, para proyectos relacionados con puentes, elevados y represas. El Servicio Geológico Federal (USGS, por sus siglas en inglés), trabaja en la recolección de datos y mapas sobre los recursos de agua superficial y realiza proyectos de investigación del recurso del suelo y agua.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), tiene una agencia conocida como el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés), creada en el año 1968, la cual maneja y administra los varios programas e iniciativas en conjunto con 17 distritos de conservación de suelos en Puerto Rico e Islas Vírgenes. Uno de los programas más importantes de esta agencia tiene el propósito de evitar la erosión de los suelos y la sedimentación de los cuerpos de agua mediante programas de reforestación y filtros vegetativos. Esta agencia federal (NRCS), antes conocida como el Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Se

encarga de la administración de programas de servicios técnicos y lleva a cabo investigaciones y experimentos relacionados a la conservación de cuencas hidrográficas y del suelo, el control y prevención de la erosión y sedimentación e inundaciones. Se encarga de coordinar de manera efectiva con la organización no-gubernamental, la Asociación de Distritos de Conservación de Suelos en las diferentes cuencas hidrográficas del país.

Además, se regula y se controla la contaminación del agua mediante la Ley de Federal de Agua Limpia del año 1975 (Clean Water Act, CWA; 33 USCA §§ 1251-1387) en especial las Secciones 401 y 404 de la Agencia de Protección Ambiental federal (USEPA, por sus siglas en inglés) y los reglamentos promulgados al amparo de ésta. Su propósito es restaurar y mantener íntegra las aguas (química, física y biológicamente). La ley ordena que se desarrolle un plan comprensivo entre las agencias federales y estatales para el mejoramiento de la calidad de las aguas, mantener las condiciones aptas para la protección de la vida acuática y para uso de agua potable, agrícola e industrial.

Otros programas y reglamentos que la USEPA lleva a cabo en coordinación con la JCA son el Programa de Nacional de Descarga y Eliminación de Contaminantes (NPDES, por sus siglas en inglés). El cual está dirigido a las fuentes fijas y dispersas de contaminación que descargan directamente en las aguas, así como las descargas de las aguas de escorrentías producto de las actividades de construcción, municipales e industriales.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Área de estudio

La microcuenca bajo estudio es el Embalse La Plata, la cual se localiza entre las municipalidades de Toa Alta, Naranjito y Bayamón. El área de estudio comprende un área de 4,868.714 acres (Figura 1). El Embalse La Plata fue construido en el año 1973 y es administrado por la AAA para suplir agua potable a gran parte de la zona metropolitana. El mismo alimenta de las aguas del Río La Plata y de varias quebradas tributarias. Este embalse tiene un área de desagüe de 181.0 millas cuadradas. La reserva tiene una capacidad original de almacenaje de 43.9 millones de metros cúbicos, pero para el año 1998 la capacidad se había reducido a 35.5 millones de metros cúbico (Soler et al., 2000).

La población de la microcuenca según datos del Censo publicados en el año 2003 es de 19,159 habitantes. La temperatura del suelo varía de 77 a 81°F y la precipitación promedio, según los datos del Servicio Nacional de Meteorología entre los años 1971 y 2000, es de 3269 milímetros para la región.

El embalse está compuesto principalmente por rocas sedimentarias y volcánicas, es pedregoso y el tipo de suelo que predomina es la formación “Mucara clay” (MxE) y “Caguabo clay” (CaF). Según indica el San Juan Soil Survey (1978), el tipo de suelo múcaro y el caguabo se caracterizan por ser erosionables debido a su contenido arcilloso el cual es difícil de atrapar. El mayor contenido del MxE se encuentra en las pendientes entre 20 a 40%, irregulares y de 200 a 1,000 pies de largo. El CaF se encuentra en las

pendientes entre 40 a 60% y que son de 200 a 800 pies de largo (Figura 2).

Fuentes de datos

Obtuvimos información secundaria para analizar los cambios y las tendencias en los usos del terreno de las siguientes fuentes:

- a) Borrador del Plan de Uso de Terrenos [PUTPR] de la Junta de Planificación (2006).
- b) Planes de Ordenamiento Territorial para los municipios de Toa Alta (2006) y Bayamón (2000). El municipio de Naranjito no tenía información disponible al momento del estudio.
- c) “Web Soil Survey” de USDA-SCS (2008) la cual provee información técnica relacionada a los datos de estudios de suelo en la microcuenca, análisis de los tipos de suelos, pendientes y otra información relacionada a las características y condiciones de los tipos de suelo.
- d) Artículo científico del USGS titulado “The Frequency and Distribution of Recent Landslides in three Montane Tropical Regions of Puerto Rico, Geomorphology” (Larsen & Torres, 1998).
- e) Mapa sobre deslizamiento de tierra y de zonas susceptibles a nivel isla, a una escala 1:250,000 (Monroe, 1979).
- f) Modelo de para determinar la susceptibilidad a deslizamiento cortesía de la Oficina de Gerencia y Presupuesto (OGP) del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (2002).
- g) Sistema de Información Geográfica, programa de Arc GIS 9.2 (2006).

- h) Imágenes de satélite para los años 1997 del CRIM y 2007 del USCOE.
- i) Mapas topográficos del USGS revisados en el 1982.
- j) Datos espaciales de los diferentes niveles de información geográfica (NIG) de la Oficina de Banco de Datos de la JP (1977). Las categorías consideradas fueron: elevación, pendiente, orientación de la pendiente, usos de suelos y consultas de ubicaciones para los años del 1972 hasta el 2006 (aprobadas, no aprobadas y pendientes de algún proceso).
- k) Datos espaciales ofrecidos por JCA (2008 y 2009) para delimitar la cuenca hidrográfica del Río La Plata.
- l) Datos espaciales del Servicio Forestal Federal (2006) sobre cobertura vegetal.

Diseño metodológico

Objetivo 1: Analizar los cambios y tendencias en usos de los terrenos en la microcuenca para observar su impacto en el embalse.

En primer lugar, utilizamos los datos espaciales de la JCA para delimitar la microcuenca del Embalse La Plata dentro de la cuenca hidrografía del Río La Plata. El área de la misma fue calculada en acres.

Segundo, realizamos un análisis físico-espacial mediante el uso del SIG y utilizamos la misma clasificación del NIG del año 1977 de la JP y categorizamos y digitalizamos las imágenes de satélite de los años 1997 y 2007 para determinar los usos históricos (1977-2007) de los suelos en el área. Cuantificamos para cada uso el área (en acres y %) de la cubierta vegetal en la microcuenca y comparamos los diferentes datos espaciales del Servicio Forestal Federal del año 2006 y de la JP (1977). Observamos los cambios y las tendencias de desarrollo en los terrenos en la microcuenca mediante los

mapas de usos de suelo de los años 1977, 1997 y 2007 cortesía de la JP.

Tercero, revisamos información secundaria técnica contenida en los documentos del NRCS a través del “Web Soil Survey”. Evaluamos los datos de suelos para el año 2008 y obtuvimos información actualizada de los tipos de los suelos, topografía, vegetación y demás características predominantes del terreno. Esta información nos proveyó datos sobre la erodabilidad de los tipos de suelos del área de la microcuenca y nos ayudó a determinar los riesgos de los tipos de suelos y los usos de suelos para esas categorías.

Cuarto, aplicamos el modelo creado por la OGP y elaboramos un modelo para determinar la susceptibilidad a deslizamiento del área de estudio. El modelo original se fundamenta en los parámetros estimados en los estudios de Larsen & Torres (1998), el cual delimita las áreas de riesgos en tres niveles de intensidad: alto, moderado y bajo (Apéndice 1). Manejamos y adaptamos los datos espaciales del SIG relacionados con un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) a través del cual obtuvimos las pendientes e inclinación del terreno, así como la orientación de la pendiente y sus elevaciones. Categorizamos la susceptibilidad a deslizamientos basándonos en los parámetros del estudio de Larsen & Torres (1998) que el modelo originalmente también aplica. Mediante el cual se le otorga un rango dentro de unos valores de susceptibilidad a deslizamientos de las variables evaluadas (usos de suelos, pendientes, elevación y orientación).

En la capa de elevación no se escogió un valor mayor de 400 metros debido a que éste es el valor máximo aplicable al modelo y para efectos de este estudio el área llegó a una elevación máxima de 340 metros sobre el nivel del mar. Las pendientes van de 0 a

más de 12° grados y se clasifican en tres categorías (bajo, moderado y alto). La orientación de la pendiente es categorizada como alta, baja y normal. La cubierta de los terrenos es clasificada en áreas construidas, agrícolas y boscosas. El rango de peligrosidad para las áreas en donde sobrepusimos y combinamos los datos de las pendientes, la elevación, la orientación y la cubierta de suelo nos permitió conocer cómo los usos de suelos actuales y futuros pudieran estar poniendo en riesgo las comunidades, así como su contribución al aumento de sedimentos causados por el deslizamiento del suelo.

Una vez evaluadas estas variables, determinamos las áreas susceptibles (en acres) a deslizamientos y utilizamos el mapa de deslizamiento de tierra de Monroe (1979), el cual nos muestra las zonas susceptibles a deslizamientos a nivel isla. Luego comparamos los datos obtenidos sobre los riesgos a deslizamientos del área de la microcuenca. Con los datos obtenidos relacionados a las áreas susceptibles trabajamos un mapa de susceptibilidad a deslizamiento. Visitamos el área de estudio para realizar una inspección ocular y corroboramos los problemas ambientales de sedimento y los movimientos de terrenos cercanos al embalse.

Objetivo 2: Evaluar los patrones de desarrollo para la generación de estrategias futuras.

Examinamos la información secundaria proveniente de los distintos documentos presentados por el gobierno de Puerto Rico para verificar la zonificación propuesta y los usos de los terrenos propuestos para el área de estudio. También trabajamos con los datos relacionados a la clasificación propuesta por el PUTPR de la JP del año 2006 y los planes de ordenamiento territorial para los municipios de Toa Alta y Bayamón que fueron

los únicos disponibles al momento de este estudio.

Analizamos el aumento, en por ciento (%), del crecimiento de la huella urbana para los años 1980, 1990, 2000 y 2007 con el propósito de observar y corroborar la presión de desarrollo sobre el área de este estudio. Calculamos en % el área de suelo construido y comparamos con la clasificación de los suelos según el PUTPR del año 2006. También investigamos las consultas de ubicaciones (aprobadas, no aprobadas y pendientes de algún proceso) de la JP. Además, estimamos el cambio observado a través de los años para conocer las tendencias en los usos del suelo mediante la siguiente fórmula:

$$P = x^1 - x^2 / x^1;$$

Donde: $x^1 =$ área total,

$x^2 =$ año en estudio

Comparamos la información obtenida del PUTPR sobre el uso propuesto por el PUTPR y con los datos obtenidos y existentes del SIG sobre el desarrollo actual y uso de los terrenos de la microcuenca para el año 2007. Calculamos las áreas determinadas para el uso por su potencial y que en la actualidad se usan de forma contraria a lo propuesto. A través de esta información, determinamos los conflictos en el uso del suelo y observamos el patrón de desarrollo en el área.

Técnicas de análisis

Realizamos un análisis cualitativo a través del “Web Soil Survey” (2008) y evaluamos el tipo de suelo y las pendientes. En combinación con el “San Juan Soil Survey” (1978), examinamos y cuantificamos la magnitud en el aumento de la erosión

que pudieran causar los usos propuestos por la JP y los usos actuales de la microcuenca. Expresamos la información recopilada en acres y en por ciento.

Utilizamos el Arc GIS 9.2 y otros modelos existentes como herramienta de planificación para realizar el análisis físico-espacial y cuantitativo del área de estudio. Los datos secundarios consideramos fueron combinados y sobrepuestos en las imágenes de satélites de los años 1977, 1997, 2006 y 2007 que fueron provistas por las diferentes agencias consultadas para evaluar los diferentes usos en acres y %.

Trabajamos el modelo recomendado por la Oficina de Gerencia y Presupuesto para determinar cuantitativamente la susceptibilidad a deslizamiento. Mediante el cual aplicamos una metodología sencilla y aplicamos del modelo los parámetros estimados y presentados en los estudios de Larsen & Torres (1998) y Monroe (1979). Los cuales son adaptables a estudios similares en los reseñados en sus estudios. En la investigación sobre los deslizamientos del área de estudio utilizamos el SIG y realizamos un análisis espacial de dicho programa para poder convertir datos matriciales de un Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés) de la JP a formatos “shape files” para este estudio.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Análisis de los usos de los suelos

Los hallazgos del análisis físico-espacial relacionado a los usos de los suelos y de cobertura vegetal reflejan un cambio en las áreas de boscosas, de pastos y de desarrollo urbano en el área de la microcuenca del Embalse la Plata. Cuando analizamos el NIG de la JP y consideramos como año base el 1977 encontramos que las áreas boscosas dominaban sólo un 33% (equivalente a 1,606.90 acres). El uso predominante de los suelos eran los pastos un 42.95%; los terrenos desarrollados un 11.35% y las áreas agrícolas un 0.88% (Tabla 1). En contraste con el análisis realizado por el Servicio Forestal Federal sobre cobertura vegetal (Figura 3) demostró que para el año 2006 un 43% de la microcuenca tenía bosques como uso dominante. Los pastos y los arbustos ocupaban el segundo lugar con un 33% y la cubierta de desarrollado o terrenos baldíos eran un 14%. Siendo la cobertura agrícola la más baja observada en la microcuenca con un 0.24%.

En el año 1977 en el área de la microcuenca había un 33% de áreas boscosas y para el año 2006 aparenta un aumento de acuerdo a la cobertura del Servicio Forestal Federal. Este cambio puede advertirse debido al abandono de los suelos agrícolas y la conversión de éstos en áreas de pastos y en bosques secundarios. En el año 1977 las áreas construidas eran de un 11.35% y hubo un aumento para el 1997 de 24.46%. Sin embargo, para el 2006 se observó una disminución aparente de un 14%. Este hecho es contradictorio ya que presenta muy poco desarrollo urbano de alta intensidad en el área

de estudio cuando observamos las imágenes de satélites. En las que se observan áreas deforestadas en los terrenos inmediatos al embalse lo que contribuye a un aumento en la escorrentía y, por ende, aumento de la sedimentación en el embalse. Es meritorio aclarar que dicha situación podría constituir una limitación del estudio dado que la data espacial probablemente no representa lo que existe en algunas áreas ya que pudiera ser que las imágenes de satélites pudieran ilustrar áreas boscosas o con nubes que están cubriendo áreas urbanas o construidas y por eso puede dar un % menor en las áreas desarrolladas para ese año.

En el año 2007 las áreas de pastos presentaron una disminución y para el mismo año hubo un aumento significativo de áreas desarrolladas con un 41.33%. Esto implica que a través de los años se ha evidenciado cambios en cobertura vegetal lo que ha repercutido en un aumento o disminución en la erosión de los suelos y su eventual sedimentación del embalse. Esto como resultado del movimiento de tierra, áreas de extracción, áreas urbanas residenciales y comerciales que provocan que las aguas de escorrentías arrastren los sedimentos hacia el embalse (Figuras 4, 5 y 6).

Análisis de los tipos de suelos

De la revisión del documento San Juan Soil Survey (1978) y la base de datos del “Web Soil Survey” obtuvimos toda la información concerniente a los tipos de suelos y sus características. Los tipos de suelo que forman la microcuenca son: 1% es Aceitunas; el 24% es Caguabo clay loam; el 0.19% es Consumo clay; el 0.42% es Daguey clay; el 1.3% es Humanatas clay; el 1% es Juncos clay; el 2% es Lares clay; el 0.10% es Mabi clay; el 53% es Mucara clay; el 9% es Naranjito silty clay loam; el 0.14% es Reilly sandy

loam; el 0.95% es Río Arriba clay y el 1.7% es Río Piedras clay y el 0.26% es Yunes silty clay loam (Figura 2). De acuerdo a esta información en el área del embalse el tipo de suelo que predomina es la formación Mucara clay con un 53% es y el Caguabo clay loam con un 24%. Los que están compuestos principalmente por rocas sedimentarias y volcánicas y se caracterizan por ser pedregosos. Estos terrenos no son recomendables para la agricultura debido a las pendientes, por su peligrosidad a la erosión que representan, por las escorrentías rápidas y debido a la profundidad de las rocas. Este tipo de suelo es apto para pastos y árboles y son suelos que presentan severas limitaciones para la construcción de carreteras e infraestructura, instalaciones recreativas y otros desarrollos intensivos.

El Caguabo clay loam se caracteriza por las pendientes entre 40-60% y su capacidad de agua disponible es mínima. Con respecto al manejo de este tipo de suelo la mayor preocupación se relaciona a la erosión. Este suelo es restrictivo para la mayoría de los usos urbanos por ser muy empinado, poco profundo y por ser susceptible a deslizamientos por lo que es recomendable la mínima remoción de la capa de vegetación. La mayoría de los suelos son un eminente peligro a inundaciones y su permeabilidad es baja, el agua que cae en este tipo de suelo no percola rápidamente.

El Mucara clay se encuentra en pendientes entre 12 y 60%. Las pendientes entre 12 y 20% son moderadamente empinados con buen drenaje en las partes bajas y a los lados. Estos suelos son de pendientes irregulares entre 300 a 800 pies de largo y su permeabilidad es moderada. Es un suelo difícil de manipular ya que se caracteriza por el peligro a la erosión que representa lo que se convierte en términos del manejo en la mayor preocupación de cómo controlar la misma. También se caracterizan por ser de

rápidas escorrentías, moderadamente empinados, por la aglutinación y la plasticidad de la arcilla. La infraestructura y los desarrollos en éstos deben de ir al contorno y no se recomiendan para usos urbanos por ser moderadamente empinado.

Las pendientes también fluctúan entre 20-40% y son de 200 a 1000 pies de largo. La permeabilidad es moderada y la capacidad de agua es baja, al igual que el anterior cuando cae la lluvia en este tipo de suelo percola lentamente. La escorrentía es bien rápida y la erosión constituye un peligro. Las pendientes del Mucara clay son irregulares, fluctúan entre 40 a 60% y son de 100 a 800 pies de largo. La permeabilidad es moderada y la capacidad de la viabilidad del agua es baja. Al igual que para los otros tipos, si el suelo es usado para la construcción se recomienda que sea de contorno.

Otras particularidades consideradas y evaluadas relacionadas a los tipos de suelos son: erodabilidad (factor K); grupos hidrológicos y el factor T (factor de tolerancia de la pérdida de suelo). La erodabilidad del suelo es determinada por el factor K que es igual a la propensidad de las partículas del suelo para separarse por las acciones del agua o viento. Esto es la función de la textura del suelo, contenido de material orgánico, estructura del suelo y la permeabilidad, la cual se expresa en valores numéricos dados por el USDA/NRCS (Oregon Department of Environmental Quality, 2005). Los suelos erosionados (factor K) son aquellos que varían alrededor de 0.02 a 0.69 y mientras más alto el valor más alto es la susceptibilidad del terreno a la erosión. En el Caribe estos valores varían de 0.02 a 0.32. Un valor K de 0.02 a 0.15 tiene un potencial bajo de erosión porque son resistentes a la separación. Un valor de 0.16 a 0.32 tiene un potencial mediano de erosión porque son susceptibles a separaciones y producen una escorrentía moderada (USDA, 2008).

Los resultados de los cálculos para determinar el factor K (erodabilidad) de los suelos de la microcuenca bajo análisis son: Aceitunas clay con .02; Caguabo clay loam con .24; Consumo clay con .10; Daguey clay con .02; Humanatas clay con .02; Juncos clay con .10; Lares clay con .10; Mabi clay con .24; Mucara clay con .10; Naranjito silty clay loam con .10; Reilly sandy loam con .10; Río Arriba clay con .17; Río Piedras clay con .10 y Yunes silty clay loam con .10.

Otro factor que permitió evaluar las condiciones de los suelos es el factor T. El cual se define como el total máximo de la cantidad de erosión en que la calidad del suelo mantiene el crecimiento de una planta. La interfase entre el aire y el suelo mediante la cual se permite que el aire y el agua protejan la capa de suelo de la erosión del aire y el agua. El factor T se le asigna a los suelos que no tienen uso de suelo o cobertura. A este factor T se le asigna un valor que va desde 1 hasta 5 (1, 2, 3, 4 y 5). Estas cinco clases, a su vez, van de 1 tonelada por acre por año para cada suelo poco profundo a 5 toneladas por acre por año por suelos muy profundos que fácilmente pueden sostener la productividad (USDA, 2008).

Los resultados obtenidos para el factor T de la microcuenca fueron los siguientes: Aceitunas clay con un valor de 5; Caguabo clay loam con un valor de 1; Consumo clay con un valor de 5; Daguey clay con un valor de 5; Humanatas clay con un valor de 5; Juncos clay con un valor de 4; Lares clay con un valor de 5; Mabi clay con un valor de 5; Mucara clay con un valor de 3; Naranjito silty clay loam con un valor de 3; Reilly sandy loam con un valor de 3; Río Arriba con un valor de 5 y Río Piedras con un valor de 5.

Los suelos se clasifican en cuatro grupos hidrológicos basados en su potencial de escorrentía: A, B, C y D. En donde A tiene la cantidad menor de escorrentía y D tiene la

cantidad mayor de escorrentía. De acuerdo a los resultados los suelos están clasificados de la siguiente manera: Aceitunas clay (B), Caguabo clay loam (D), Consumo clay (B), Daguey clay (C), Humanatas clay (C), Juncos clay (D), Lares clay (C), Mabi clay (D), Mucara clay (D), Naranjito silty clay loam (C), Reilly Sandy loam (A), Río Arriba clay (D) y Río Piedras clay (B).

Modelo de susceptibilidad

En el estudio realizado mediante la aplicación del modelo recomendado por OGP para determinar la susceptibilidad a deslizamientos se le adjudicó unos valores de riesgo a la combinación de todas las variables o factores combinados (elevación, pendiente, orientación de la pendiente y cobertura de suelo) que van de 0 a 3 según con Larsen & Torres (1998). En el área de estudio los resultados fueron: desde un 33.47% que representa baja susceptibilidad a deslizamientos, un 37.11% con susceptibilidad moderada a deslizamientos y un 19.2% con alta susceptibilidad a deslizamientos. Señalamos que para área hidrográficas este valor es cero, con un 10.21%. Estos datos se confirman con lo señalado en el estudio realizado por Monroe en donde indica que la microcuenca tiene una moderada susceptibilidad a deslizamientos. Cuando realizamos una superposición de las capas de susceptibilidad a deslizamientos con la capa de los usos de suelos del año 2007 y las áreas de mayor riesgo según el rango impuesto tuvo como resultado que las áreas de usos agrícolas comprenden un 0.15%. Las áreas boscosas son un 8.95%; las áreas desarrolladas representan un 14.80% y las áreas de pastos son un 3.28% (Figura 7).

Revisión de PUTPR y usos vigentes

Durante las visitas de campo pudimos observar las condiciones ambientales en que se encuentran los suelos inmediatos al embalse. Se observó problemas de turbiedad del agua y disminución del abasto de agua (Figura 8).

De acuerdo al PUTPR (2006) el suelo rústico especialmente protegido son aquellos que deben protegerse del proceso urbanizador por su valor natural y recreativo o porque constituye algún riesgo para la salud pública. La clasificación de suelo rústico especialmente protegido indica que este suelo de ningún modo debe utilizarse como suelo urbano. El suelo urbano terrenos con infraestructura necesaria para el desarrollo de las actividades administrativas, económicas y sociales que en estos suelos se realizan y que estén comprendidos en las áreas consolidadas por la edificación. En el plan propuesto por el Gobierno de Puerto Rico se consideró como suelo rústico especialmente protegido un 69.29% de la microcuenca contrario a los usos propuestos por los municipios de Toa Alta y Bayamón en sus planes de ordenamiento donde el suelo rústico especialmente protegido es sólo un 12.57% de la microcuenca (Tabla 2).

Análisis de la huella urbana

El crecimiento de la huella urbana evidenciado en la microcuenca a través de los años es de suma importancia ya que representa un riesgo en el aumento de las escorrentías que afectan calidad de agua de esta fuente de abasto. El estudio realizado sobre crecimiento de la huella urbana para los años 1980, 1990, 2000 y 2007 reflejaron que en el año 1980 se obtuvo un crecimiento urbano de un 0.50%. En el año 1990 se reflejó un 6.79% de crecimiento urbano, en el año 2000 un crecimiento de 33.11% y en el

año 2007 hubo un crecimiento urbano de un 59.61% en el área de la microcuenca, siendo el por ciento de crecimiento con mayor presión de desarrollo hacia el embalse (Figuras 9 y 10).

Lo anterior demuestra que las clasificaciones propuestas por la Ley Núm. 550 del PUTPR, donde la mayoría del suelo de la microcuenca fue clasificado como un suelo rústico especialmente protegido no han sido consideradas ya que lo observado en el área de estudio es contrario a lo que el gobierno propone en sus documentos. Esto sumado con las consultas de ubicación en el área de la microcuenca que demuestra un 74% de consultas aprobadas versus el 14.8% de las que no fueron aprobadas (Figura 11 y Tabla 3). Esto implica un crecimiento acelerado hacia el embalse sin los debidos controles de uso del suelo debido a la falta de la implementación de un PUTPR a nivel isla y municipal.

De igual modo, que se desprende del análisis y de las observaciones realizadas a las imágenes de satélite (2007) con relación a los cambios en los usos y las tendencias de desarrollo urbano una contradicción entre los usos propuestos en el borrador del PUTPR (2006) y el desarrollo urbano alrededor del embalse. En el año 2007 el uso predominante es el desarrollo urbano con un 41.33%. El mapa de uso de suelo para el año 1977 ilustró en su mayoría un uso agrícola y en el año 2006 el mapa de cubierta de suelo presentó un crecimiento en la zona urbana de alta intensidad y desarrollo de área urbana de baja densidad alrededor del embalse (Figuras 4, 5 y 6).

CAPÍTULO V

ESTRATEGIAS Y PLAN DE ACCIÓN

La microcuenca del Embalse La Plata naturalmente está constituida por un tipo de suelo susceptible a la erosión que sumado a sus pendientes y el factor de escorrentía agrava el problema de sedimentación del embalse. Por otro lado, los asentamientos humanos de las comunidades aledañas establecidas y recién construidas carecen de conocimiento sobre los factores de riesgo a susceptibilidad y su manejo. Lo que ha conllevado a un aumento de sedimentos al embalse por el mal manejo de estos suelos.

Las estrategias presentadas se enfocan en los aspectos relacionados al desarrollo urbano, al uso del suelo y a la calidad de agua, así como un uso sostenible de los recursos naturales de suelo y agua. Los usos alrededor del embalse no son compatibles ni están conformes a los usos propuestos en el PUTPR. Los usos actuales y las consultas de ubicación aprobadas por la JP no son adecuados a las limitaciones del tipo de suelos y la topografía.

La gran mayoría de los problemas ambientales presentan riesgos en la disminución de la capacidad de almacenaje de este embalse y como resultado de la sedimentación que limita su rendimiento. Para garantizar la disponibilidad de agua, de modo que satisfaga las necesidades de las generaciones futuras, es necesario la implantación de estrategias y de cursos de acción dirigidas para asegurar su funcionalidad (Tabla 4). Los cambios en usos de los terrenos continúan promoviendo la erosión de los terrenos y la pérdida de capacidad de almacenaje del Embalse La Plata.

Estrategia 1: Creación de un comité de participación comunitaria.

Resultado esperado:

Los beneficios esperados están relacionados en la integración de las comunidades aledañas. Este comité es esencial para crear conciencia de los problemas ambientales a las comunidades y la que cada acción tiene sus consecuencias directas al embalse. Asimismo, se en la gestión ambiental del recurso se fortalezcan líderes comunitarios y representantes municipales.

Además de que se espera que mediante la educación ambiental como medio de orientar a los ciudadanos sobre las áreas de mediano y alta susceptibilidad a deslizamientos deba ser igualmente considerada para que los habitantes estén prevenidos de los riesgos a los que estarían expuestos.

Entidades responsables: EPA/ DRNA/JCA/Municipios

Costos: \$258,250.00

Estrategia 2: Desarrollar un plan de área.

Resultado esperado:

Para la protección de la cuenca es necesario designar las áreas de mayor susceptibilidad como el de los suelos especialmente protegidos. La designación de estos terrenos es importante que se considere en los planes especiales para el área ya que ayudan a detener el crecimiento desparramado de la zona metro hacia el embalse.

Se espera que se desarrolle un plan de área en donde se permita armonizar los usos de terrenos y las zonas de amortiguamiento alrededor del embalse. Además, que el uso de los suelos esté en armonía con las zonas de riesgos. El beneficio esperado es establecer una zona de amortiguamiento de 50 metros de modo que ayude a aumentar el

filtro vegetativo, disminuya los sedimentos y aumente la forestación o de las áreas verdes alrededor del embalse.

Entidades responsables: JP/AAA/DRNA/Municipios

Costos: \$10,000.00

Estrategia 3: Creación de un comité intermunicipal.

Resultado esperado:

Se espera la elaboración de los planes de ordenamiento territoriales de modo que armonice los usos de suelos en los municipios por donde discurre la microcuenca. Mediante la implantación de la política pública sobre el manejo de la microcuenca con el fin de lograr una zonificación especial y de ordenanzas municipales y estatales.

Entidades responsables: Municipios

Costos: \$20,000.00

Estrategia 4: Fiscalizar de manera efectiva los manuales de construcción.

Resultado esperado:

Los desarrolladores deben considerar las condiciones topográficas, los tipos de suelos, cobertura vegetal y su nivel de susceptibilidad en el desarrollo preliminar de sus proyectos. Esta acción debe minimizar los disturbios en los terrenos en los procesos de desarrollo y mantener la vegetación natural y áreas verdes en la medida que sea posible. Los desarrollos deben incluir medidas de mitigación como cubrir de vegetación las áreas de alta y mediana susceptibilidad a deslizamientos, el uso de terrazas, relieves en el terreno, canales, etc.

Se espera que se desarrollen en estos suelos actividades tomando en consideración la condición natural del tipo de suelo, las altas pendientes y erosionables. Las mejores prácticas de manejo que pudieran ser utilizadas como medidas típicas en las áreas que se piensan desarrollar se encuentran: las trampas de sedimentos, las verjas de sedimentos, los controles de viento de erosión y de los sedimentos químicos y de nutrientes. Las mismas deben ser implementadas en tres fases de desarrollo: pre-construcción, construcción y después de la construcción.

Con relación al movimiento del suelo es imprescindible que se realicen trabajos de contención, de refuerzo o construcción de obstáculos en las áreas de alto riesgo a deslizamientos como una medida estructural. Conjuntamente con la implantación de los planes u ordenanzas municipales y con todos aquellos estatutos legales aplicables para la organización de la microcuenca según su susceptibilidad.

Entidades responsables: JP/ARPE/JCA/DRNA/EPA/USGS/

Costos: \$10,000.00

Estrategia 5: Implementar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos

Resultado esperado:

Los beneficios que se desean lograr es ubicar los desarrollos urbanos utilizando como base el mapa de susceptibilidad a deslizamientos desarrollados en este proyecto. Asimismo, que se realicen trabajos de protección mediante la implantación de barreras estructurales en las áreas de alta susceptibilidad como por ejemplo el de muros de contención, estababilización de altas pendientes, entre otros que pudieran ser consideradas.

Entidades responsables: NRCS/USDA/USGS/DRNA/JP/Municipios

Costos: \$3,000.00

Las estrategias de manejo aquí presentadas para la microcuenca deben ser consideradas en la revisión del plan de uso de terreno a nivel isla de modo que se integren técnicas de manejo, así como se consideren las enmiendas a la zona de amortiguamiento establecida por ley. Las mejores prácticas de manejo como la reforestación que sirve de filtros para los sedimentos que se depositan en el embalse y otras barreras vegetativas también deben ser consideradas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Actualmente, el Embalse La Plata experimenta un desarrollo y aumento de población acelerada que requiere más abasto de agua para consumo de la población. Esta para el año 1998 obtuvo una reducción en su volumen de 35.46 millones de metros cúbicos, o sea de un 12%, lo que implica que como abasto de agua está en riesgo. Este desarrollo en el área junto a las condiciones naturales de los suelos no es compatible lo que pone aún en un riesgo mayor el mismo.

El tipo de suelo que compone los terrenos de la microcuenca se caracteriza por ser susceptibles a la erosión. Junto al cambio en uso de terreno propicia un manejo inadecuado que también contribuye a la pobre calidad de los recursos, a la erosión acelerada de los suelos y a la eventual sedimentación del embalse. Actualmente, no existe un plan de usos de terrenos ni un plan de área para el manejo de la microcuenca.

La huella urbana ha crecido un 59.61% para el año 2007 donde el 40.39% de la microcuenca ha sido impactada. Aunque se ha observado un aumento de las áreas boscosas para el año 1977 de un 33% y en el año 2007 a 41% de áreas urbanas todavía el embalse sufre de las consecuencias del mal manejo y de los problemas de sedimentación asociados. La microcuenca tiene un crecimiento en la huella urbana de 2,012.08 acres con una tasa de cambio de 80%. El PUTPR había propuesto un 69.29% de SREP en donde un 41% es actualmente área construida, lo que amerita revisión y la evaluación de estrategias específicas para esas áreas. En el año 2006, alrededor de 30 consultas de

ubicación fueron aprobadas en las áreas propuestas como SREP, existen diferencias e incongruencias con lo propuesto en PUTPR.

Se recomienda incluir en los planes territoriales la preservación de la microcuenca como abasto de agua. Además, de lograr consenso entre los municipios por donde discurre la microcuenca e integración de éstos en el manejo sostenible y su conservación como fuente de abasto de agua potable. Se recomienda la realización de estudios de escorrentía y erosión en los suelos en toda la cuenca para determinar las áreas más críticas por su vulnerabilidad y hacer una propuesta de acciones debidamente estipuladas entre las partes involucradas que ayuden a disminuir los riesgos ante los eventos naturales, así como en el manejo sostenible de la misma.

Los municipios, las comunidades y el gobierno central deben establecer un consenso con relación a los estatutos legales vigentes que establecen el ordenamiento territorial y la protección de los recursos mediante la implantación de la Ley Núm. 550, PUTPR (2004), Ley Núm. 81 del 30 de agosto de 1995 (Ley de Municipios Autónomos) y la Ley Núm. 136, Ley de Aguas del año 1976. El desarrollo, la implantación y el cumplimiento de un plan de usos de terrenos efectivo permitiría salvaguardar los recursos naturales y en especial los recursos hídricos conjuntamente con la implantación en los municipios de un plan de ordenamiento territorial que sea cónsono con la conservación de recursos naturales.

Se recomiendan estudios adicionales para determinar por medio del DEM las escorrentías y calcular la aportación de este factor sobre las áreas con susceptibilidad a deslizamientos. Además, se recomienda realizar el modelo aplicado a este estudio en toda la cuenca hidrográfica del Río La Plata.

La participación comunitaria permitirá concienciar a las habitantes de modo que se involucren en los procesos relacionados en el manejo de la misma. Mantener en un 50% de áreas forestadas alrededor del embalse, una mayor efectividad en la fiscalización de la otorgación de permisos, evaluación de los planes de control de erosión y sedimentación, así como la implantación de tecnologías y de las mejores prácticas para el manejo de la microcuenca redundaría en un manejo sostenible del área.

Las limitaciones de este estudio están asociadas principalmente a las fuentes de información y su meta data, la resolución y escalas de las imágenes de satélite y calidad de las imágenes. La otra limitación del proyecto fue el no poder calcular la fórmula RUSLE por falta de información y de personal técnico en las agencias para poder explicar los supuestos del modelo.

LITERATURA CITADA

Adler, F. (2006). *Los embalses y los recursos hídricos superficiales*. 1668:1-12.

Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (2003). *Plan Maestro de Acueductos*. San Juan, Puerto Rico.

Ayala, F.J.; Olcina, J.; Laín, L. & González, A. (2006). Riesgos naturales y desarrollo sostenible: Impact, predicción y mitigación. Publicaciones del Instituto Geológico y medio ambiente de España. *Medio Ambiente: Riesgos geológicos*. Madrid. 10:210-243.

Brighton lake sub-watershed workgroup. (2002). *The Brighton lake sub-watershed management plan: A strategy to meet the total maximum daily load for Brighton Lake*. Massachusetts, Estados Unidos.

Chiras, D. (2001). *Environmental science: Creating a sustainable future*. 6th Ed. Jones & Bartlett Publishers, Inc. United States. 10-16pp.

Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. (1899). *Ley de ríos y puertos*. Secciones 9 y 10.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1968). *Ley de extracción de materiales de la corteza terrestre*. Ley núm. 132 del 25 de junio de 1968.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1972). *Ley orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales*. Ley núm. 23 del 20 de junio de 1972.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1975). *Ley de bosques*. Ley núm. 133 del 1 de julio de 1975.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1976). *Ley de aguas de Puerto Rico*. Ley núm. 136 del 3 de junio de 1976.

- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1985). *Erosión y sedimentación en Puerto Rico*.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1996). *Plan integral de conservación, uso y desarrollo de los recursos de agua de Puerto Rico*. San Juan, Puerto Rico.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1997). *Reglamento para regir la extracción de materiales de la corteza terrestre*. Reglamento núm. 2305 del 10 de octubre de 1997
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1976). *Ley para la conservación, el desarrollo y uso de los recursos de agua de Puerto Rico*. Ley núm. 136 del 3 de junio de 1976.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2004). *Reglamento para regir la extracción, excavación, remoción y dragado de los componentes de la corteza terrestre*. Reglamento núm. 6916 del 17 de diciembre de 2004.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2006). *Plan de Aguas*. Borrador preliminar.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2007). *Plan de Aguas*. Borrador final.
- Departamento de Agricultura de Puerto Rico. (1946). *Ley de Distritos de Conservación de Suelos*. Ley núm. 211 del 26 de marzo de 1946.
- Departamento de Transportación de West Virginia. (2003). *Erosion and sediment control manual*. West Virginia.
- Dietz, J.L. (1989). *Historia económica de Puerto Rico*. Ediciones Huracán, Río Piedras, Puerto Rico.
- Díaz, P.L., Aquino, Z., Figueroa, C., García, R. & Sánchez, A. (2003). *Water Resources data for Puerto Rico and the US Virgin Islands water year 2003*. USGS.

- Díaz, P. (2007). *Impacto de la sedimentación sobre la capacidad de almacenaje en los embalses de Puerto Rico*. United States Geological Survey.
- Environmental Protection Agency. (2001). *National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)*. USEPA Construction General Permit.
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (2000). *Ley sobre Política Pública Ambiental*. Ley núm. 9 del 18 de junio de 1970.
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (2002). *Ley de Municipios Autónomos de Puerto Rico de 1991*. Ley núm. 81 del 30 de agosto de 1991.
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (2004). *Ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible*. Ley núm. 267 del 10 de septiembre de 2004.
- Edeso, J.M., P. Marauri, P., Merino, A. & González, M.J. (1997). *Determinación de la tasa de erosión hídrica en la función del manejo forestal: La cuenca del río Santa Lucía* (Gipuzkoa). Lurralde. Universidad de Santiago de Compostela. 20:67-104pp.
- Frers, C. (2008). *Problemas de contaminación en el agua*. Extraído en abril 5, 2009. <http://agua.ecoportel.net/content/view/full/81096>
- Gellis, A.C., Webb, R.M.T., Wolfe, W.J. & McIntyre, C.I. (1999). *Effects of land use on upland erosion sediment transport and reservoir sedimentation, Loíza basin, Puerto Rico*. Water Resources Investigations. United States Geological Survey. San Juan.
- González, E. (2005). *Erosión: La importancia de la conservación del suelo*. Asociación Española de Agricultura de Conservación y Suelos Vivos. Córdoba, España.
- HQ/DB Joint Venture. (2006). *TMDL's Development Río La Plata and Río Grande de Loíza Basins (Final 1st Report)*. PRASA - Watershed Stewardship Program.
- Hudson, B. (1979). Comparison of current planning theories: Counterparts and

Contradictions. USA.

Romero, S. (2002). *El proyecto desarrollo sostenible de la cuenca hidrográfica del Río Savegre*. Instituto Nacional de la Biodiversidad. Programa de Conservación para el Desarrollo.

Junta de Calidad Ambiental. (1997). *Reglamento para el control de la erosión y prevención de la sedimentación*. Reglamento 5753 del 30 de diciembre de 1974.

Junta de Calidad Ambiental. (2003). *Reglamento sobre estándares de calidad de agua*. Reglamento núm. 6616 de 14 de mayo de 2003.

Junta de Calidad Ambiental. (2008). *305 and 303 integrated report*. Plans and special division evaluation and strategic planning area.

Junta de Calidad Ambiental (2009). *Lake La Plata*. Extraído en abril 20, 2009. www.gobierno.pr/jca/inicio/

Junta de Planificación. (1942). *Ley Orgánica para la creación de la Junta de Planificación*. Ley núm. 213 del 12 de mayo de 1942.

Junta de Planificación y Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1998). *Reglamento de siembra, corte y forestación para Puerto Rico*. Reglamento núm. 25 del 24 de noviembre de 1998.

Junta de Planificación de Puerto Rico. (2004a). *Ley para el Plan de Uso de Terrenos*. Ley núm. 550 del 3 de octubre de 2004.

Junta de Planificación de Puerto Rico. (2004b). *Reglamento de Zonificación de Puerto Rico*. Reglamento núm. 4. Borrador de Vista Pública.

Junta de Planificación de Puerto Rico. (2006). *Borrador del Plan de Usos de Terrenos*. Oficina del Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico.

- Junta de Planificación de Puerto Rico y Negociado del Censo Federal. (2003). *Censo de población para el 1970-2000. Proyecciones de población 2000-2020. Programa de Planificación Económica y Social. Oficina del Censo.*
- Larsen, M.C. & Torres, A.J. (1998). The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. USGS. *Geomorphology*. 24:309-331.
- López Feliciano, D. (1999). *El ambiente y las leyes en Puerto Rico lo que todos queremos saber*. (1ª Ed.). Publicaciones Paraíso, Rincón.
- Lugo, A., Quiñones, F. & Weaver, P. (1974). *La erosión y sedimentación en Puerto Rico*. San Juan, Puerto Rico.
- Maldonado De León, O., Palacios, O., Springall, R. & Fernández, D. (2001). Empleo del modelo SWRRB para generar alternativas de manejo en la cuenca Itzapa, Guatemala. *Agrociencia*. 35:335-345.
- Méndez, E., Piedra, M., González, A. & Jones, J. (2004). Análisis espacial del uso de la tierra en la cuenca del río Turrialba, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambientales*. 43:118-124.
- Monroe, W.H. (1979). Map showing landslides and areas of susceptibility to landsliding in Puerto Rico. US Geological Survey Miscellaneous Investigations Series Map 1-1148 sheet 1:240,000 scale.
- Natural Resources Conservation Service. (2005). *La Plata lake and its middle drainage basin Puerto Rico*. Extraído en noviembre 1, 2005. www.nrcs.gov
- Oficina de Gerencia y Presupuesto - OGP (2002). *Sobreimposición y análisis de datos geográficos. Sistema de Información Geográfica. Área de Tecnología*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. www.ogp.gobierno.pr
- Oregon Department of Environmental Quality. (2005). *Erosion and sediment control manual*. Portland, Oregon.

- Soler, L., Webb, R., & Nieves, R. (2000). *Sedimentation Survey of Lago La Plata, Puerto Rico*. Octubre del 1998. Water - Resources Investigations. Reporte 00-4045.
- Soler-López, L.R. (2001). *Sedimentation survey results of the principal water supply reservoirs of Puerto Rico*. Proceedings of the Sixth Caribbean Islands. Water Resources Congress. Mayagüez, Puerto Rico.
- Servicio Nacional de Meteorología. (2009). *Mean anual precipitation 1971-2000*. Extraído en marzo 17, 2009. <http://www.srh.noaa.gov/sju/>
- Stiftel, B. (2000). *Planning theory*. Florida State University. Washington, DC.
- Toepfer, K. (2006). *Conferencia de agua con desarrollo sostenible*. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente.
- United States Department of Agriculture Soil Conservation Services. (1968). *Puerto Rico conservation needs*. San Juan, Puerto Rico.
- United States Department of Agriculture & Soil Conservation Services. (1978). *Soil Survey of San Juan Puerto Rico*. San Juan, Puerto Rico.
- United States Department of Agriculture & Soil Conservation Services. (2008). *Web Soil Survey*. Extraído en agosto 19, 2008. <http://websoilsurvey.nrcs.usda.gov/app/homepage.htm>
- United States Department of Agriculture & Soil Conservation Services. (2009). *Soil types*. Extraído el 15 de febrero de 2009. www.usda.gov
- United States Environmental Protection Agency. (1975). *Ley de Agua Limpia*. Secciones 401 y 404.
- United States Environmental Protection Agency. (2003). *Fecal coliform bacteria TMDL for Río La Plata Watershed Puerto Rico*. Puerto Rico.
- Ureña, M. (2002). *Amenaza ambiental como efecto inducido por la actividad humana y*

la erosión en cuencas hidrográficas, el caso de la cuenca del Río Savegre.
Congreso Nacional de Agricultura Conservacionista. San José, Chile.

World Vision. (2000). *Manual de manejo de cuencas.* Modulo 5: Planificación para el manejo de cuencas. Ministro del Medio Ambiente y Recursos Naturales. San Salvador.

Tabla 1.

*Usos de suelo y tipo de cubierta en la microcuenca del Embalse La Plata**

Año	Uso de Suelo y Tipo de Cubierta (acres y %)						Total
	Boscosas	Agrícolas	Desarrollados	Hidrografía	Pastos	Otros	
1977	1,606.90 33%	42.78 0.88%	552.46 11.35%	533.14 10.95%	.27 42.95%	25.38 0.52%	4,851.9
1997	1,761.69 36%	20.13 0.41%	1,086.77 22%	436.93 8.97%	1,563.38 32%	0	4,868.9
2006	2,107.68 43.29%	11.46 0.24%	676.75 13.9%	478.21 9.8%	1,594.8 33%	0	4,868.9
2007	2,026.29 41.6%	8.54 0.18%	1,934.29 39.7%	474.51 9.75%	425.27 8.73%	0	4,868.9

* Datos espaciales de los diferentes niveles de información geográfica cortesía de la Oficina de Banco de Datos de la JP (1977).

Tabla 2.

Usos Propuestos en el PUTPR (2006) y Usos actuales en los municipios de Bayamón y Toa Alta

Usos propuestos (PUTPR)	Usos propuestos (Bayamón y Toa Alta)
Suelo Urbanizable No Programado 463.48 9.5%	Suelo Urbanizable No Programado 473.90 12.80%
Suelo Rústico Común 802.97 16.49%	Suelo Rústico Común 2,309.36 62.39%
Suelo Rústico Especialmente Protegido 3,373.81 69.29%	Suelo Rústico Especialmente Protegido 465.38 12.57%
Suelo Urbano 215.73 4.43%	Suelo Urbano 361.95 9.78%
Suelo Urbano Atípico Desarrollado 12.91 0.27%	Suelo Urbano Programado 91.01 2.46%

Tabla 3.

Consultas de ubicación

Fechas	Aprobado	No Aprobado	Pendiente	Total
1970	0	0	1	1
1980	0	0	0	0
1990	21	6	3	30
2000-2006	19	2	2	23
Total	40	8	6	54

Tabla 4.

Matriz del Plan de Acción

Estrategias	Entidad	Costos*	Resultado
Creación de un comité de participación comunitaria.	EPA/ DRNA/JCA/Municipios	\$258,250.00	La integración comunitaria en la protección del embalse de las comunidades.
Desarrollar un plan de área.	JP/AAA/DRNA/Municipios	\$10,000.00	Suelos en armonía entre los usos del terreno, zonas de susceptibilidad y de amortiguamiento.
Creación de un comité Intermunicipal.	Municipios	\$20,000.00	Elaboración de un plan de ordenamiento territorial en armonización con los usos de los suelos en los municipios.
Fiscalizar de manera efectiva los manuales de construcción.	JP/ARPE/JCA/DRNA/EPA/ USGS/	\$10,000.00	Aplicación de las mejores prácticas de manejo y de medidas estructurales y no estructurales para disminuir la erosión y deslizamiento de los suelos que incurren en la sedimentación en el embalse.
Implementar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos.	NRCS/USDA/USGS/DRNA/ JP/Municipios	\$3,000.00	Considerar el mapa de susceptibilidad a deslizamiento en los desarrollos urbanos en la cuenca hidrográfica.

* Los costos estimados están basados en los manuales de manejo de cuencas hidrográficas de los Estados Unidos y Latino América.

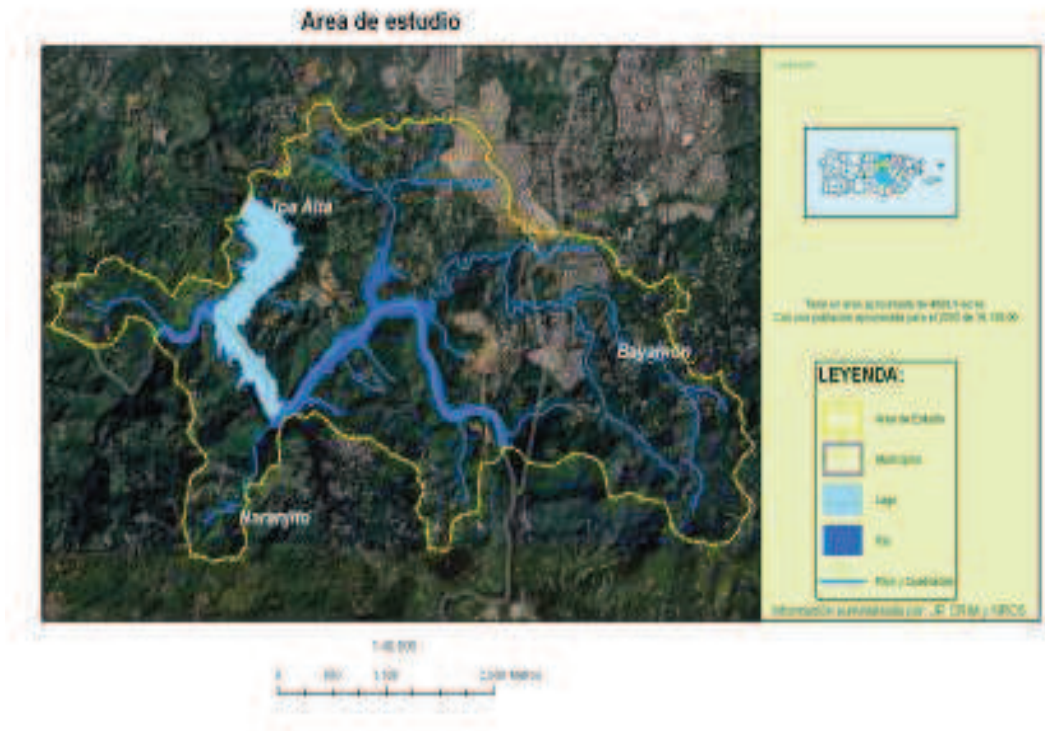


Figura 1. Área de estudio.

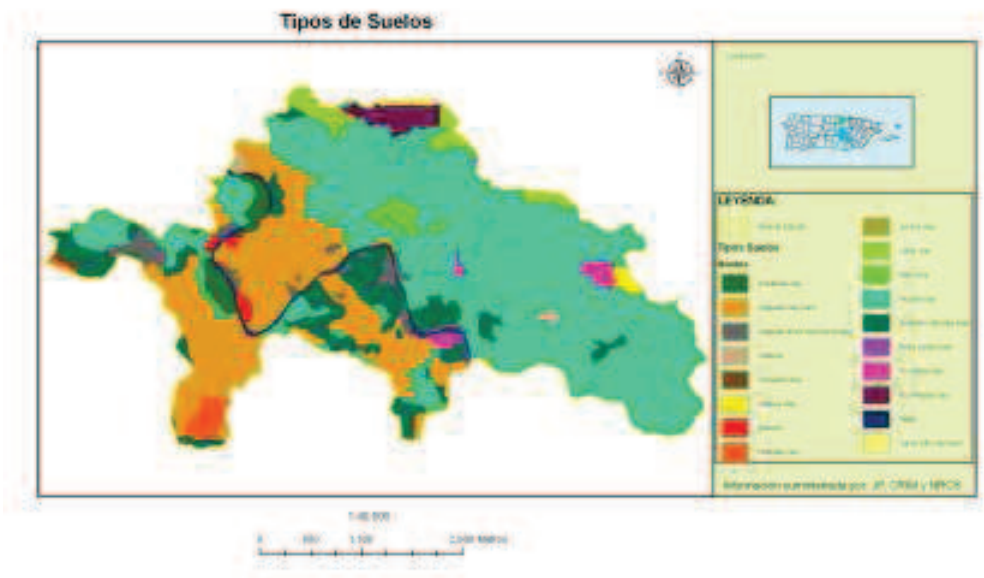


Figura 2. Tipos de suelo.

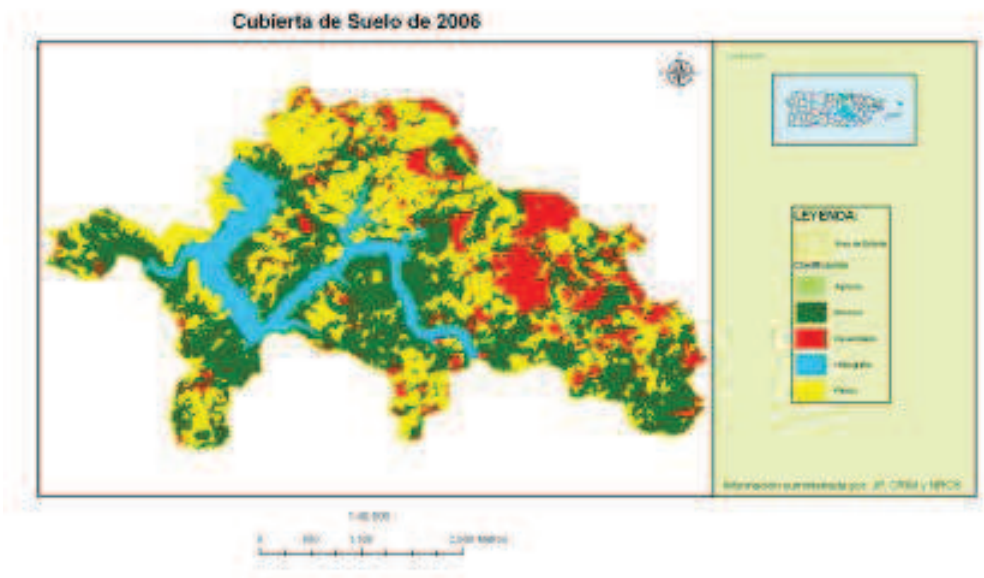


Figura 3. Cobertura de suelo presentada por el Servicio Forestal Federal para el año 2006.

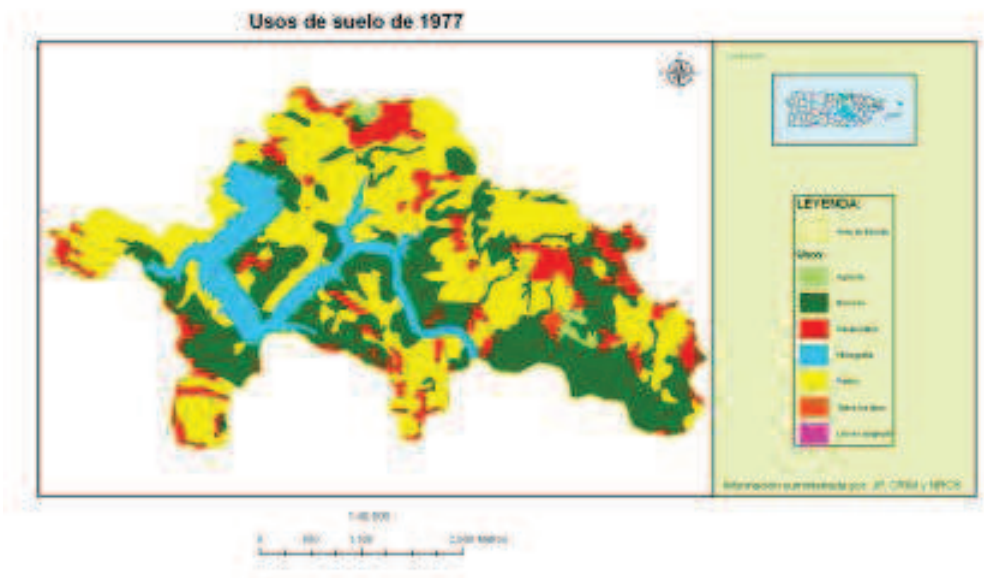


Figura 4. Usos de suelo (1977).

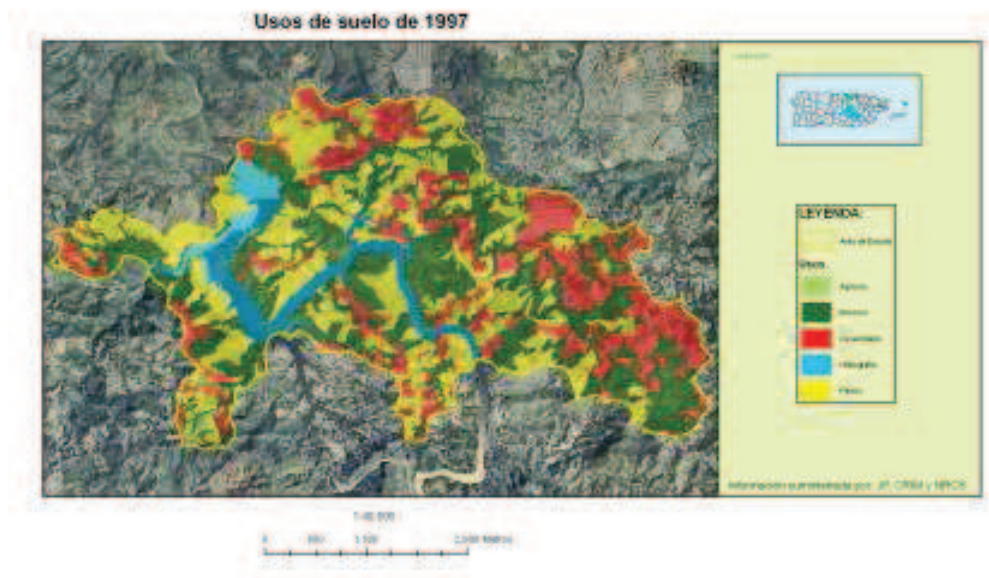


Figura 5. Usos de suelo (1997).

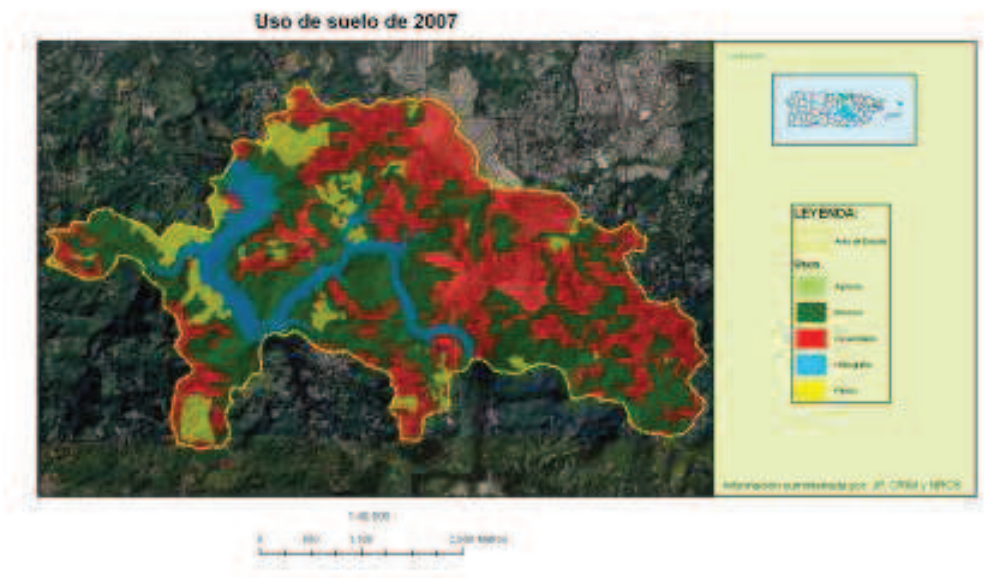


Figura 6. Usos de suelo (2007).

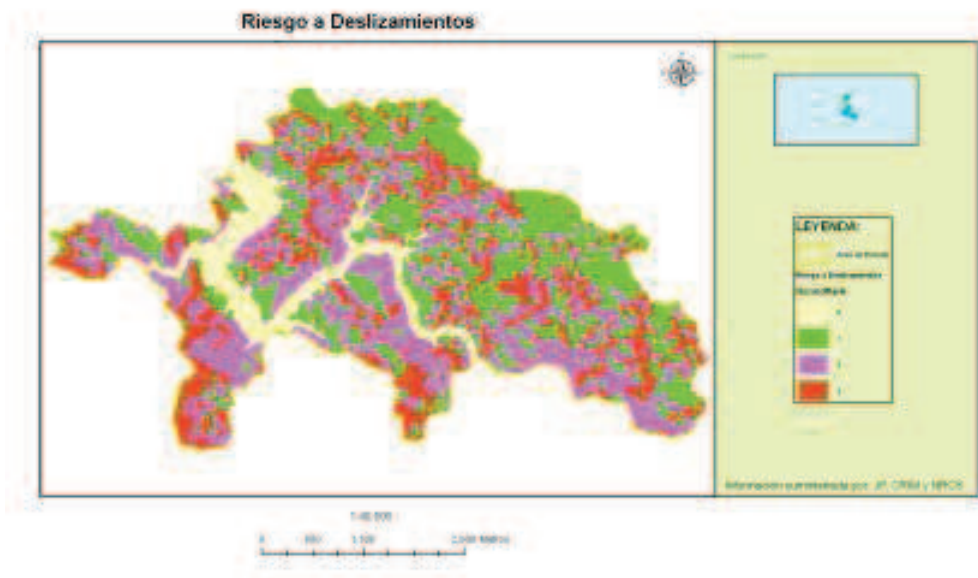


Figura 7. Mapa de susceptibilidad a deslizamiento.



Figura 8. Sedimentación en el embalse La Plata

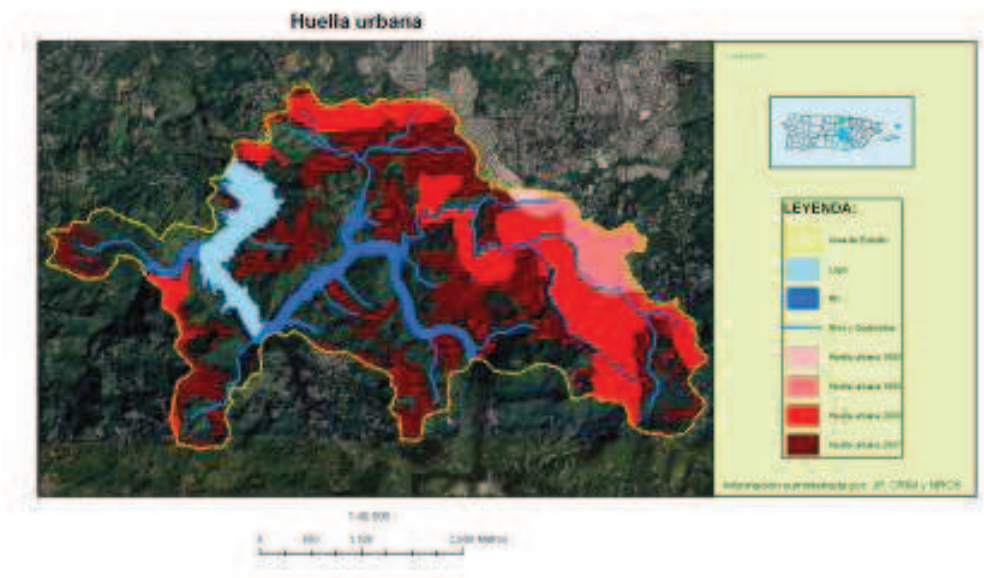


Figura 9. Huella urbana para los años del 1980-2007.

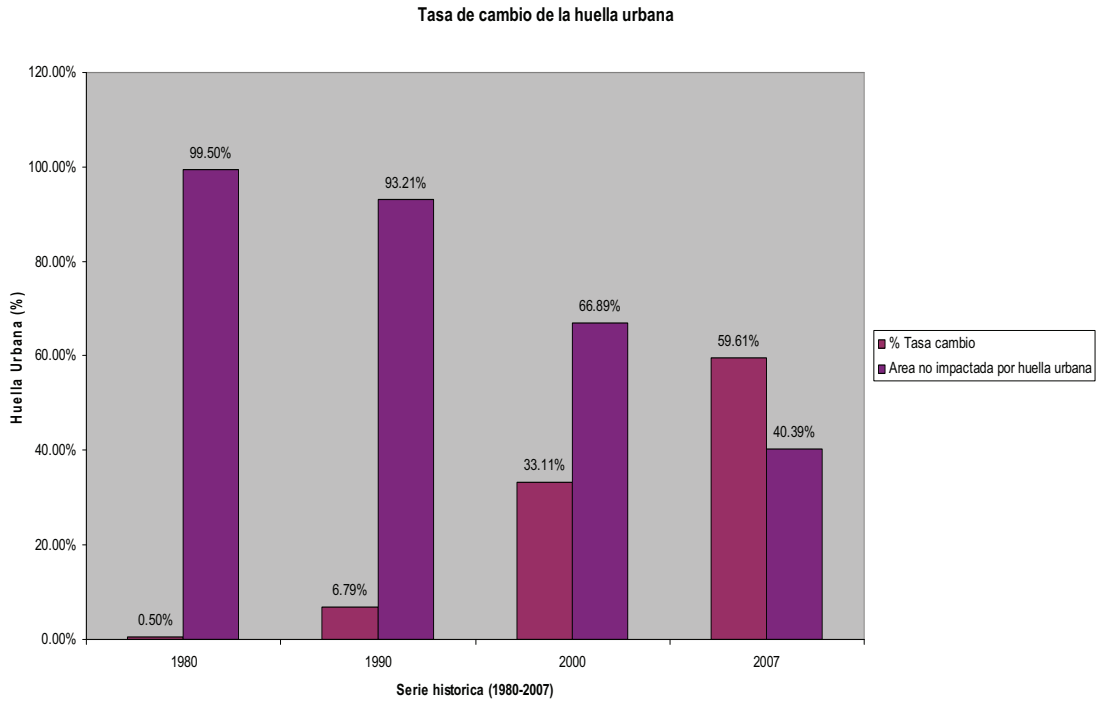


Figura 10. Tasa de cambio de la huella urbana.

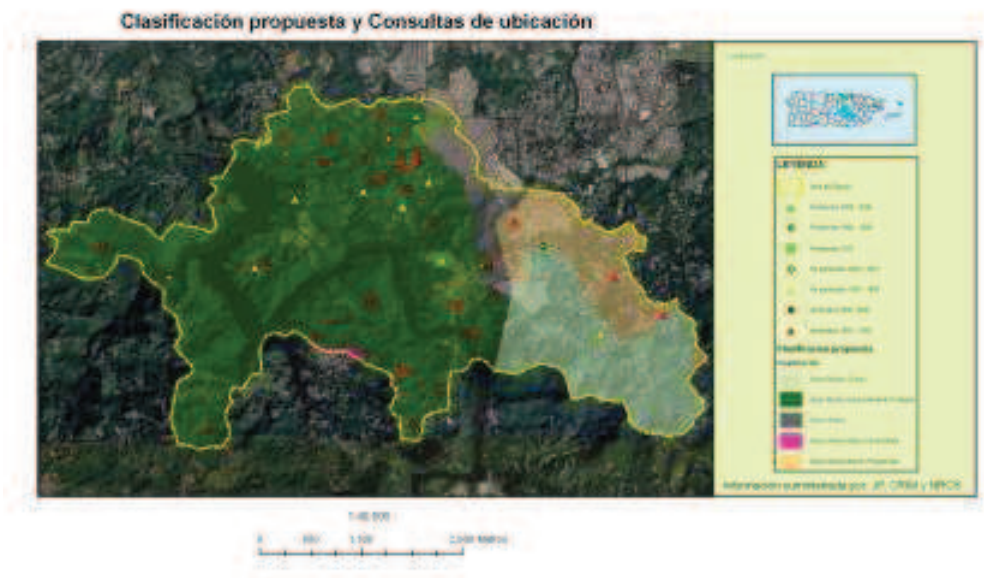


Figura 11. Clasificación propuesta en el PUTPR (2006) y consultas de ubicación.

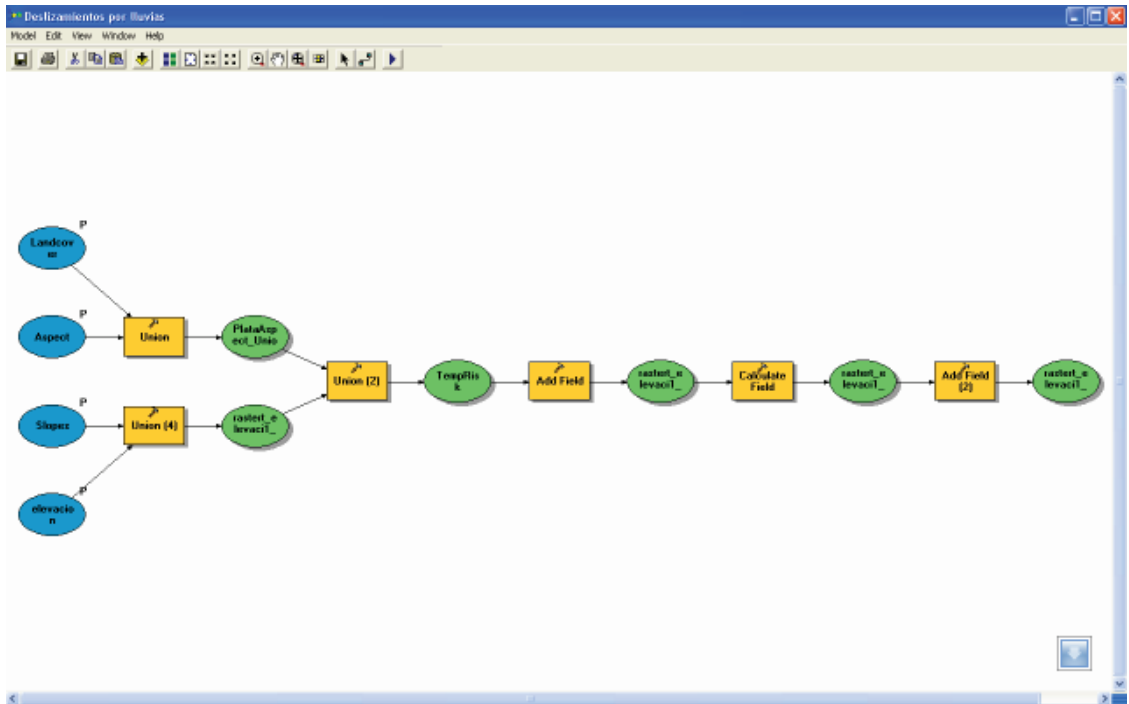


Figura 10. Modelo de susceptibilidad a deslizamientos