

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

**MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS EN
VIEQUES, PUERTO RICO**

Requisito parcial para la obtención del Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia
Ambiental en Conservación y Manejo de Recursos Naturales

Por
Rubén Reyes Pérez

6 de mayo de 2011

DEDICATORIA

*A Vanessa Marie Pagán Reyes por ser
inspiración de superación y vida. 1994-2008*

AGRADECIMIENTOS

Reconozco que este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda, aportación, inspiración y guía de varias personas. Por lo que doy las gracias a mi Directora de Tesis, Profa. Álida Ortíz Sotomayor, quien además de confiar en mí y aceptar ser mi mentora en este estudio, fue guía instrumental con su conocimiento en el manejo de zonas costeras. A los Miembros de Tesis, Prof. Rafael F. Dávila López, Director de la Oficina de Ingeniería y Biosistemas del Servicio de Extensión Agrícola; UPRM, quien me brindó la oportunidad de ser parte del equipo de trabajo de investigación sobre erosión en los caminos no pavimentados en Vieques y al Prof. Javier Vélez Arocho, cuya aportación técnica fue esencial en el área de conservación y manejo ambiental.

Agradezco la colaboración del Prof. Lionel Cruz Rodríguez, Investigador Asociado de Extensión; UPRM, quien aportó en la organización de los datos y la información geográfica y a Elsa E. Alvira Lugo, Secretaria del Servicio de Extensión Agrícola en Ceiba, quien en su tiempo libre me ayudó en el escrito del documento de investigación. Agradezco la aportación de la Profa. Ivette Torres-Negrón quien fue clave en la preparación de la propuesta de este estudio.

También, quiero agradecer a mi esposa Judith Conde Pacheco y mi hijo Rubén Javier Reyes Conde, quienes fueron pacientes y sirvieron de inspiración y motivación para completar este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del Problema	1
Problema de estudio	6
Justificación del estudio	8
Preguntas de investigación	9
Meta.....	9
Objetivos.....	9
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
Trasfondo histórico	11
Estudio de casos.....	26
Marco legal	29
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	35
Área de estudio	36
Objetivos.....	36
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
LITERATURA CITADA.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información geográfica de los caminos no pavimentados seleccionados en la Cuenca de Villa Borinquen.....	74
Tabla 2. Nombre y serie de los suelos y las áreas ocupadas por los caminos Seleccionados.....	75
Tabla 3. Factores y resultados de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisado (RUSLE) para los caminos seleccionados (R) (K) (LS) (C) (P) = A.....	76
Tabla 4. MPM recomendados para los caminos seleccionados	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, Cuenca del Barrio Villa Borinquen y línea de la costa	79
Figura 2. Caminos y segmentos de caminos y sus promedios estimados de pérdida de suelo	80
Figura 3. Caminos seleccionados y sus promedios estimados de pérdida de suelo	81
Figura 4. Serie de suelos en el área de estudio	82
Figura 5. Porcentaje de pendientes en el área de estudio	83
Figura 6. Segmento de camino 1	84
Figura 7. Segmento de camino 2	85
Figura 8. Segmento de camino 3	86
Figura 9. Segmento de camino 4	87
Figura 10. Segmento de camino 5	88
Figura 11. Segmento de camino 6	89
Figura 12. Camino 7	90
Figura 13. Segmento de Camino 8.....	91
Figura 14. Camino 9	92
Figura 15. Segmento de camino 10	93
Figura 16. Erosión en el área de estudio y en la costa norte de Vieques	94

RESUMEN

En este estudio identificamos las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) para 10 caminos no pavimentados en el área de la cuenca de Villa Borinquen, del Barrio Villa Borinquen localizado en la costa norte de la isla de Vieques, Puerto Rico. Utilizamos datos recopilados por un estudio hecho por el Servicio de Extensión Agrícola, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y Rutgers School of Environmental and Biological Sciences de Nueva Jersey (2010), que determinó el promedio estimado de pérdida de suelos de los caminos y que constituyen una amenaza al ambiente marino. Este grupo de estudio utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisado (RUSLE), por sus siglas en inglés, desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos, para determinar el potencial de erodabilidad. Para determinar y recomendar las MPM para los caminos no pavimentados identificados en este estudio, utilizamos guías y manuales preparados por instituciones reconocidas. Las guías y manuales contienen MPM utilizados en la prevención y control de erosión y sedimentos en construcciones y desarrollos. Estos recursos proveen procedimientos estándares, técnicas costo efectivas y prácticas que pueden ser utilizadas para mejorar la estabilidad y proveer mantenimiento adecuado a caminos no pavimentados, a la vez que reducen la erosión y sedimentación. Las MPM son prácticas que han sido probadas en ser efectivas para evitar o minimizar significativamente la erosión y eventual sedimentación del suelo erodado. Luego de las visitas de campo, la evaluación y observación directa, recomendamos las MPM que pueden ser utilizados en los caminos identificados. Concluimos que de aplicarse las MPM recomendados en este estudio por las agencias gubernamentales y partes pertinentes, se obtendrá el beneficio de caminos transitables por periodos prolongados, evitar o minimizar la erosión, y más importante, evitar la contaminación del ambiente marino cercano.

Palabras clave: MPM, caminos no pavimentados, RUSLE, erosión, sedimentación, ambiente marino

ABSTRACT

We identified Best Management Practices (BMPs') for unpaved roads in the Villa Borinquen watershed area of the Villa Borinquen neighborhood located on the north shore of the island of Vieques, Puerto Rico. The data generated from a study made by the PR Agricultural Extension Service, the PR Department of Environment and Natural Resources and Rutgers School of Environmental and Biological Sciences from New Jersey (2010), was used. This study identified the unpaved roads in the watershed and determined their erosion potential using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) developed by the US Soil and Conservation Service. BMPs' were recommended for ten of the unpaved roads with highest potential of erosion and proximity to the marine environment. In this investigation two main instruments, among others, were used to identify and develop BMPs'. They are The Puerto Rico Erosion and Sediment Control Handbook for Developing Areas, a guide developed by the National Resources Conservation Service and the Puerto Rico Environmental Quality Board used as an instrument in the prevention and control of erosion and sediment runoff from constructions and developments in Puerto Rico and the document; A Guideline for Maintenance and Service of Unpaved Roads developed by the US Fish and Wildlife Service (USFWS) and the US Environmental Protection Agency (USEPA) which was also developed to provide practical and low cost standard technical proceedings used to improve stability and maintenance for unpaved roads while reducing sedimentation production and safekeeping of the quality of superficial waters. BMPs' are those practices that have been proven effective to avoid or minimize in great extent erosion and eventual sedimentation of eroded soil. As a result we identified and recommended BMPs' that can be applied on the identified unpaved roads by the pertinent government agencies or parties. In conclusion, if the BMPs' recommended in this study are applied correctly, the benefit of better and long lasting roads, erosion and sediment runoff control and most important, the improvement of the marine environment will be obtained.

Keywords: BMPs, unpaved roads, RUSLE, erosion, sediments, marine environment

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

La erosión es un proceso natural que ocurre sin la intervención humana. La erosión consta del transporte de piedras o partículas del suelo tanto por el viento como el agua y su depósito en otra localidad (Chiras, 2001a). La sedimentación es el proceso en el que partículas del suelo y otras impurezas se depositan sobre el fondo acuático o marino (Frank & Brownstone, 1992). Estos procesos están asociados y, por lo general, ocurren lentamente permitiendo que suelos nuevos repongan los erodados.

El disturbio de la actividad agrícola, la construcción y el desarrollo de carreteras y caminos expone a los suelos al proceso de erosión. Cuando el suelo es desprovisto de materia vegetativa, la capa superior orgánica es removida por el viento y el agua de forma más rápida de lo que este puede ser formado. La pérdida de las capas superiores de material orgánico en descomposición, que es altamente absorbente, expone también a las capas inferiores de suelo a los procesos climatológicos (Smith & Smith, 2001).

De forma natural, el proceso de erosión transporta partículas de suelo de un lugar a otro incluyendo las aguas superficiales y marinas contribuyendo a estos medios con nutrientes y minerales. Las partículas de suelo se depositan en el fondo de los cuerpos de agua a través del proceso de sedimentación convirtiéndose así en sedimentos.

El proceso de erosión puede ser acelerado drásticamente por la actividad humana ya que el suelo desprendido por la actividad llega en altas cantidades a los sistemas acuáticos terrestres y a los ecosistemas marinos causando sedimentación excesiva y la degradación de estos recursos. El sedimento, término común para suelo erodado, es el mayor contaminante masivo de aguas superficiales (Borah, 1986). Según Díaz (2009), la contaminación por causa de la erosión y la sedimentación es el mayor tensor de las praderas de yerbas marinas y los arrecifes.

La sedimentación sobre los arrecifes de coral tiene un efecto directo sobre la abundancia de estos, altera su forma de crecimiento, disminuye la diversidad de especies que la habitan y altera la estructura de la comunidad. Este tipo de contaminación transforma el arrecife a la dominancia de taxones (organismos emparentados de corales) no constructoras de arrecifes como son los corales blandos, las esponjas y los zoantidos o algas, entre otros (Hernández, 2006).

El rechazo de sedimentos por parte de los corales es energéticamente costoso (Dallmeyer et al., 1982) y desvía la actividad metabólica de otras funciones como crecimiento y calcificación (Aller & Dodge, 1974; Dodge & Vaisnys, 1977). Un estrés más severo puede resultar en la secreción altamente anormal de mucosidad como una defensa al sedimento, pérdida de zooxantelas y muerte localizada de tejido (Pastorok & Bilyard, 1985). Los sedimentos son un impedimento para las estructuras alimentarias de los corales y los priva del oxígeno necesario para subsistir.

La sedimentación afecta tanto corales juveniles como adultos. En aguas donde el sedimento se ha acumulado, organismos resistentes al sedimento como esponjas y algunas algas dominan y cubren virtualmente todas las superficies disponibles.

La dominancia de organismos resistentes a sedimentos indica que la sedimentación inhibe el establecimiento o sobrevivencia temprana de las larvas de coral (Demers, 1996). Existen seis factores o condiciones principales que pueden afectar el crecimiento y precipitar la muerte de los corales; la temperatura y salinidad del agua, profundidad, luz, sedimentación y emerger al aire.

De estos, la sedimentación tiene efectos o influye en la temperatura, la luz y la salinidad haciendo de este factor uno de mayor impacto sobre los corales. Al ser una de las causas principales que limita el crecimiento y causa la muerte de los corales y arrecifes de coral, la sedimentación tiene efectos devastadores en otros aspectos sociales y económicos.

Los arrecifes de coral son fuentes esenciales de alimentos, empleos, químicos, farmacéuticos y protección de zonas costeras. Las áreas que contienen arrecifes de coral generan en la industria de turismo en los Estados Unidos y Puerto Rico 17 billones de dólares anualmente.

La pesca comercial genera una cantidad adicional de 246.9 millones de dólares anualmente. En el sur del estado de Florida los arrecifes generan 44,500 empleos que proveen un ingreso anual de 1.2 billones (Waddell & Clarke, 2008).

La sedimentación, también causa la muerte de especies marinas que viven ocultas en grietas, cuevas o hendeduras del arrecife al depositarse sobre ellas y causa traumas en los sistemas respiratorios de los peces. Los sedimentos suspendidos y depositados afectan a las yerbas marinas conocidas como angiospermas marinas.

La combinación de aguas llanas y la buena penetración de la luz solar promueve el desarrollo de praderas de estas yerbas marinas, las cuales son hábitats de una gran variedad de organismos y donde otros completan una o varias etapas de crecimiento (Carruba, Otero & Ortíz, 2006). Como ejemplo de esto, las praderas son esenciales para el establecimiento y desarrollo del carrucho (*Strombus gigas*) en estado juvenil. La degradación de las praderas es una de las razones por la que la especie sea considerada sobre pescada, ya que una reducción en hábitat resulta en pérdida de productividad (The Caribbean Fishery Management Council, 1996).

La sedimentación excesiva limita la capacidad de las praderas para atrapar y retener sedimentos como parte de sus funciones ecológicas. La turbidez del agua causa la muerte de las yerbas al interrumpir su proceso de fotosíntesis evitando su crecimiento y desarrollo y eliminándola como fuente de alimento para otros organismos marinos. En Puerto Rico, hay sólo siete de las 50 especies de yerbas marinas reportadas en el mundo y sólo tres de ellas se encuentran en aguas poco profundas de nuestras costas: *Syringodium filiforme*, *Thalassia testudinum* y *Halodule beaudettei*.

Estas yerbas marinas forman praderas que son hábitats esenciales para muchas especies y protegen a los corales de los sedimentos que llegan de la zona terrestre como parte de sus funciones ecológicas. A nivel global las yerbas marinas juegan un papel importante en mantener la productividad, ya que son responsables de 1% de la producción total primaria y 15% del secuestro total de carbono (Hemminga & Duarte, 2000).

En las playas y costas, la vegetación terrestre existente es otro factor importante que evita o impide que los sedimentos lleguen a los ecosistemas marinos a través del proceso de erosión. La presencia de vegetación en las playas, las dunas y zonas adyacentes a las playas son importantes ya que retienen y estabilizan estos suelos evitando el proceso. Pastos (*Sporobolus virginicus*), plantas (*Canavalia marítima*, *Sesuvium portulacastrum*) y vainas (*Ipomea pes-caprae*) que crecen en las arenas y los árboles costeros (*Coccoloba uvifera*, *Thespesia populnea*, *Terminalia catappa*) contribuyen todos con la retención del suelo a través de sus raíces superficiales o profundas (Cambers, 1998).

Además de estabilizar el suelo con sus raíces, la vegetación atrapa partículas de suelo desprendidos, interceptan gotas de precipitación pluvial, retardan la escorrentía y filtran partículas de suelo. Las raíces de los árboles penetran las capas más profundas del suelo y extraen agua hasta las hojas, donde ocurre transpiración hacia la atmosfera. Esta remoción de humedad ayuda a estabilizar el suelo (Michigan Sea Grant, 1988).

En Puerto Rico, el corte y la remoción de la vegetación en las costas es una práctica común con el propósito de preparar áreas para acampar, coleccionar leña para fogatas y barbacoas, construcción de veredas y caminos, conducir vehículos todo terreno y habilitar espacio para recreación. Una de las actividades que contribuye significativamente al proceso de erosión que causa la contaminación de las costas es la existencia y proliferación de caminos no pavimentados y no planificados adecuadamente.

Al mencionar caminos no pavimentados, en este trabajo de investigación, nos referimos a una vía no asfaltada que permanece en tierra la cual es transitada principalmente por vehículos de motor. En Puerto Rico, caminos de este tipo son comunes en zonas del campo, fincas y zonas costeras.

Estos caminos, por lo general, carecen de mecanismos de manejo para evitar la erosión y la eventual sedimentación del suelo erodado en las aguas superficiales. En la costa, muchos de estos caminos son construidos para ganar acceso a la orilla del mar y en muchos casos, son necesarios y resultan ser la mejor opción de acceso. Sin embargo, pueden resultar en una seria aportación de sedimentos al agua si no son manejados apropiadamente.

La erosión que proviene de estos caminos provoca la sedimentación sobre el lecho marino y sobre sus organismos asociados, afectando adversamente los ecosistemas marinos. En islas, el proceso de erosión tiene un efecto más inmediato debido a la proximidad de esta actividad humana al ambiente marino, como es el caso de la isla de Vieques. Esto a su vez representa una amenaza a los recursos naturales, turísticos y económicos que pueden aportar significativamente a la economía de las comunidades locales.

Problema de estudio

La isla de Vieques es un municipio de Puerto Rico localizada 13 kilómetros (Km) al este de esta isla principal. En el Sistema de Información Geográfica está ubicada 18.07 grados Norte y 65.25 grados Oeste.

La Isla mide 34 Km ó 21 millas (mi.) de largo y 6 Km o 4 mi. en su espacio más ancho para un total de 348.1 kilómetros cuadrados (Km²) ó 134.4 millas cuadradas (mi²). La Isla cuenta con una población de 9,106 habitantes (Censo Federal, 2000).

Varias comunidades en Vieques se han formado a través de la apropiación de terrenos o “rescates”. Entre éstas se encuentran los barrios Villa Borinquen, Monte Carmelo, Villa Bastimento, Bravos de Boston, Verde Vieques y Santa María.

Todos los barrios mencionados se encuentran en la parte norte de la Isla, en o cerca de la costa con cuencas en las cuales sus aguas drenan directamente al mar. Aunque la Isla cuenta con una infraestructura de carreteras pavimentadas tanto estatales como municipales, en estos barrios existe un gran número de caminos no pavimentados que contribuyen a un problema de erosión y sedimentación.

En el área oeste de la Isla se desarrolla, desde el 2008, una nueva comunidad llamada Verde Vieques. Esto ha creado una proliferación de nuevos caminos no pavimentados en ausencia de planificación adecuada.

Entre las comunidades que se han formado durante las pasadas décadas, podemos mencionar el barrio Villa Borinquen. Esta comunidad cuenta con la mayor densidad de caminos no pavimentados de la Isla (Ramos-Scharron, 2009). Los caminos en este barrio fueron construidos de manera inapropiada y aportan sedimentos al ambiente marino debido a la erosión que ocurre en ellas (Ramos-Scharron, 2009).

El Servicio de Extensión Agrícola de la Universidad de Puerto Rico y su División de Ingeniería y Biosistemas en colaboración de Rutgers School of Environmental and Biological Sciences de Nueva Jersey y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales realizaron un estudio en la cuenca del barrio Villa Borinquen. El estudio identificó los caminos y segmentos de caminos no pavimentados del barrio que presentan potencial de contaminación, para los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas.

La identificación es necesaria para desarrollar un plan de manejo para controlar o disminuir los efectos nocivos que presenta este problema ambiental. Por lo tanto, el estudio investigativo que abarca esta tesis consiste en desarrollar las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) o “Best Management Practices” (BMPs, por sus siglas en inglés) para estos caminos, que eviten o minimicen la erosión y los sedimentos que llegan a las costas.

Justificación del estudio

La Administración Municipal de Vieques no cuenta con los fondos necesarios para pavimentar los caminos expuestos existentes en el barrio Villa Borinquen. No cabe duda que el deterioro de los caminos, causado por la erosión, obstaculiza la transportación y el acceso de los residentes a sus hogares. Sin embargo, nuestra mayor preocupación es la degradación de los recursos costeros debido a la sedimentación causado por el suelo erodado de estos caminos.

Villa Borinquen tiene 29.4 km de caminos para una densidad de 6.8 km/ km². De estos 18.2 km de caminos no pavimentados responsables por el transporte de 435mg de sedimentos cada año al ambiente marino (Ramos-Scharron, 2009). La aplicación de Mejores Prácticas de Manejo, a la brevedad posible, en los caminos no pavimentados podrá solucionar ambos problemas aquí expuestos.

La erosión y sedimentación pueden reducirse significativamente deteniendo y minimizando su producción en las áreas afectadas por los disturbios, limitando las oportunidades para que estos puedan ser transportados al ambiente marino de la costa norte de la isla de Vieques. Además, este estudio servirá para la aplicación de MPM en otras áreas con potencial de erosión y sedimentación al ambiente marino a través de caminos no pavimentados en la isla de Vieques.

Preguntas de investigación

1. ¿Es posible aplicar Mejores Prácticas de Manejo en los caminos no pavimentados en el barrio Villa Borinquen en Vieques?
2. ¿Cuáles prácticas de manejo pueden ser aplicadas en los caminos identificados con alto potencial de erosión?
3. ¿Cómo se aplican las Mejores Prácticas de Manejo en los caminos no pavimentados?

Meta

Desarrollar Mejores Prácticas de Manejo (MPM), económicas y de bajo mantenimiento para los caminos o segmentos de caminos no pavimentados que presentan mayor riesgo al ambiente marino, en el área de la cuenca de Villa Borinquen. Esto con el propósito de que puedan ser utilizadas por las partes o agencias pertinentes para su futura aplicación.

Objetivos

1. Evaluar la información recopilada por el estudio del Servicio de Extensión Agrícola y sus colaboradores sobre los caminos y segmentos de caminos no pavimentados en la cuenca de Villa Borinquen.
2. Identificar y seleccionar diez caminos o segmentos de caminos con alto potencial de erosión, mayores estimados de pérdida de suelo, mayor proximidad al ambiente marino y condiciones de deterioro.
3. Recomendar las MPM para los caminos o segmentos de caminos no pavimentados seleccionados.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos a través de sus agencias: el Servicio Forestal (US Forest Service) y el Servicio de Conservación de Suelos (US Soil Conservation Service), ahora el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) han estudiado e investigando el proceso de erosión y sedimentación por décadas. Estos han logrado desarrollar estándares para la construcción de caminos y carreteras, tanto para bosques como en la ruralía y llanos agrícolas de la Nación. A través de los años han desarrollado y validado métodos para controlar y minimizar el proceso de erosión.

Reconociendo el problema que representaba el proceso de erosión en los caminos de los bosques con la cosecha de árboles madereros, el Servicio Forestal comenzó en la década de los 30 la tarea de estudiar la erodabilidad de los suelos e investigar los métodos para estimar la aportación de sedimentos a las aguas superficiales. Esto, con el propósito de diseñar prácticas de manejo para proteger los caminos no pavimentados del proceso de erosión y evitar que los suelos desprendidos por el proceso lleguen a los lagos y ríos. Entre los primeros hallazgos sobre la erosión se determina que 70 a 80% del total de la pérdida de suelos en caminos proviene de los cortes de suelo desprotegidos en las pendientes y se establece que material vegetativo vivo puede reducir esta pérdida a menos de un 10% (Riedel, Swift, Vose & Clinton, 2007).

Hoy existen manuales y guías para la construcción y mantenimiento de caminos no pavimentados en la mayoría de los Estados y Territorios los cuales tienen sus principios basados en los estándares producidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Tanto en Estados Unidos como en Puerto Rico, el NRCS y la Agencia de Protección Ambiental Federal, (USEPA, por sus siglas en inglés) son las agencias federales con mejor conocimiento técnico sobre prácticas de manejo para evitar y controlar la erosión de los suelos por disturbios naturales o humanos.

Las guías desarrolladas por estos contienen métodos y prácticas estándares para el mantenimiento de los caminos a través de mejores prácticas de manejo, que ya han sido validados. La EPA ha producido manuales y asistido a agencias estatales en sus propios manuales para el manejo de erosión en proyectos de construcción.

En los Estados y Puerto Rico se prohíbe la construcción de caminos no pavimentados sin el debido permiso o autorización de agencias reguladoras federales o estatales. Sin embargo, la forma en que proliferan los caminos no pavimentados en Vieques ocurre en su mayoría sin la regulación, no están contruidos por profesionales contratistas o ingenieros y no se observan las prácticas de manejo para evitar la erosión.

La población de la isla de Vieques atravesó por un proceso social poco común que influye en la forma en que se desarrolla su infraestructura. En la década de los 40, durante la segunda guerra mundial, el Departamento de la Defensa de los Estados Unidos expropia y relocaliza comunidades en el municipio de Vieques, Puerto Rico para utilizar la isla para propósitos militares.

Las poblaciones de comunidades localizadas al este y oeste de la Isla fueron desahuciadas y relocalizadas en el Barrio Santa María y el Barrio Monte Santo del mismo municipio, mientras que muchos pobladores abandonaron la isla. De las aproximadamente 33,000 acres que comprende la isla, la población civil queda ubicada en un espacio de 9,939 acres en los años 40, que se reduce a 5,685 acres para los años 50 (Ayala & Carro, 2000).

Desde la década del 60, los residentes inician acciones para reclamar los terrenos expropiados a través de la invasión u ocupación de los mismos o el rescate de terrenos, término con el que lo describen los residentes. Es entonces que durante la década de los 60 se establece la comunidad Bravos de Boston. En la década de los 70 se ocupa el área que hoy se conoce como Villa Borinquen. Posteriormente en los años 80 se establece la comunidad Monte Carmelo y finalmente en los años 90 la comunidad Villa Bastimento (R. Rabin, comunicación personal, 19 noviembre 2009).

El evento más reciente ocurre en el 2008, con la ocupación de terrenos al oeste de Vieques por la comunidad Verde Vieques. Debido a que la ocupación de estos terrenos se lleva a cabo sin que medien procesos de planificación adecuados, los mismos se componen de parcelas de tamaños desiguales.

Los caminos de acceso en tierra fueron construidos por los ocupantes sin tomar en cuenta los conceptos de la ingeniería y conservación que requiere esta actividad. Actualmente, en todos estos barrios continúa las actividades de disturbio de suelos a través de la limpieza y desmonte mecanizada para mantener las parcelas libre de vegetación, reparación de los caminos y segmentos de caminos que se deterioran, construcción de nuevos caminos y segmentos y la construcción y venta de viviendas.

Durante los pasados años, el gobierno local y estatal han logrado identificar fondos para la pavimentación de los caminos principales construidos por los ocupantes. Aún con este esfuerzo, el área de la cuenca de Villa Borinquen consiste de 3.2km² y en ella existen 29.4 km de carreteras y caminos con una densidad de 6.8 kilómetros por kilómetro cuadrado (km/km²) de los cuales, aproximadamente 18.2 km o el 62% no están pavimentados (Ramos-Scharron, 2009).

Entre estos, 4.5 km o el 25% de los caminos son frecuentemente mecanizados para mantenimiento, 12.7 km o el 70% no son mantenidos y 0.9 km o el 5% de los caminos no pavimentados están en estado de abandono (Ramos-Scharron, 2009).

Zona de vida costera y organismos acuáticos

Las zonas de vida costera incluyen tres zonas principales; los estuarios y humedales, la línea de la costa y los arrecifes (Chiras, 2001b). Los estuarios y humedales son zonas ricas en vida y nutrientes donde aguas saladas se mezclan con agua fresca que proviene de ríos, quebradas y escorrentías.

La línea de la costa consiste de zonas arenosas y rocosas que son hábitats de una gran diversidad de organismos, como las yerbas marinas, que se han adaptado a cambios en las mareas y organismos que habitan lugares donde rompe el embate de las olas. Los arrecifes de coral se encuentran solo en las regiones del trópico y subtrópico y son el equivalente al ecosistema de un bosque tropical cuando se trata de biodiversidad y productividad. De estas tres zonas, dos se encuentran en la costa del área de estudio de la cuenca de Villa Borinquen; la línea de la costa y los arrecifes de coral.

En estos ecosistemas habitan diversos organismos marinos. En Vieques se informó de 242 especies de peces durante un censo llevado a cabo en el 1995 que incluyó la isla de Santa Cruz (Departamento de Defensa, 2001). La mayoría de estos peces pasan uno o más etapas de su vida en los arrecifes de coral, se alimentan, copulan y ponen huevos en ella.

En la isla de Vieques se han documentado al menos 12 especies de crustáceos: la langosta espinosa, 2 especies de camarones (una estuarina y una de agua dulce), la cucarachita de mar (*Emerita portoricensis*), la cucaracha de mar (*Hippa cubensis*), el cangrejo fantasma (*Ocypode quadrata*), el juey común (*Cardisoma guanhumi*), el juey pelú (*Ucides cordatus*), el cangrejo violinista (*Uca spp.*), el cangrejo de mangle (*Aratus pisonii*), y el cangrejo de mangle púrpura (*Giniopsis cruentata*). Además existen 7 especies de moluscos marinos y estuarinos: el pulpo (*Octopus spp.*), el carrucho (*Strombus gigas*), el chipe (*Donax denticulada*), la ostra (*Crassostrea rhizophorae*), el caracol marino (*Nerita spp.*) y la almeja (*Mercenaria mercenaria*) (Servicio de Pesca y Vida Silvestre, 2007).

Las praderas de yerbas marinas consisten de vegetación subtropical permanentemente inundada de enraizamiento hidromórfico que ocurre en aguas poco profundas sobre el substrato de fango o arena (Servicio de Pesca y Vida Silvestre, 2007). Este ecosistema es hábitat para el manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*), el peje blanco (*Chelonia mydas*), el pelicano pardo (*Pelecanus occidentalis occidentalis*) y el carrucho (*Strombus gigas*) entre algunos de cientos de organismos marinos (Servicio de Pesca y Vida Silvestre, 2007).

En la cuenca de Villa Borinquen los caminos no pavimentados presentan un riesgo para la salud y el bienestar de estos organismos y recursos costeros. Esto, debido al alto potencial que tienen los sedimentos, proveniente del proceso de erosión, de llegar al ambiente marino.

Caminos no pavimentados

La construcción y el desarrollo de caminos no pavimentados en o cerca de las cuencas hidrográficas de Puerto Rico contribuyen al aumento de las fuentes de erosión y sedimentos con potencial para contaminar las aguas superficiales y el ambiente marino. Los caminos no pavimentados son aquellos desprovistos de una capa de asfalto por donde transitan principalmente vehículos de motor. Las mismas pueden encontrarse en terrenos públicos o privados.

La integridad de los caminos no pavimentados y su vida útil se ve comprometida por varios factores. Los caminos no pavimentados se deterioran por parámetros de tránsito como el tipo, la cantidad, la velocidad y el peso de los vehículos que transitan sobre ellos.

En los caminos no pavimentados el peso de los vehículos compacta los suelos. Como agravante a este efecto tenemos la condición de humedad. A mayor humedad mayor compactación de los suelos ocurre. Los suelos compactados no son capaces de absorber agua por lo que esta fluye sobre su superficie resultando en erosión de la capa superficial (Smith & Smith, 2001).

Otros factores lo son las características de los suelos de los caminos, el diseño y la erosión causada por el viento y la lluvia. Los disturbios en estas superficies son aceleradas si no existen prácticas de manejo y buen drenaje por lo que ocurre la erosión.

Erosión

La erosión de los caminos no pavimentados es el proceso en el cual partículas de suelo son liberados y cargados fuera de la superficie del camino, zanjas o las orillas del camino por agua, viento, tránsito y otro medio de transporte (Choctawhatchee, Pea & Yellow Rivers Watershed Management Authority, 2000).

El desarrollo de caminos en las pendientes terrestres más elevadas aumenta el potencial de los suelos a ser erodados y transportados a través de las cuencas y ríos a las costas (Díaz, 2005). El potencial de erosión es acelerada al incrementar los niveles de las pendientes de los caminos. Los caminos con pendientes altos, taludes demasiado empinadas, pobre drenaje y suelos inestables son más vulnerables a erosión. Los caminos que cruzan áreas de drenaje natural, quebrabas o ríos contribuyen aún más al problema de transporte de las partículas de suelo.

Las escorrentías que ocurren sobre una superficie con pendiente desprotegida puede ser una causa importante de erosión. Cuando la lluvia cae sobre una superficie con pendiente las partículas de suelo son perturbadas y el movimiento del agua sobre la superficie desplazará las partículas de suelo desprendidos en dirección de la pendiente hasta la costa.

A medida que incrementa la cantidad y velocidad de la escorrentía, la cantidad de suelo y el tamaño de las partículas individuales de suelo movido, también incrementarán (O'neill, 1985). La pérdida de suelo tiende a ser mayor en caminos bajo construcción, recién construidos, al momento del mantenimiento o durante reparación debido a la inestabilidad del mismo y el disturbio de maquinaria pesada.

La pérdida de suelo por el proceso de erosión contribuye a las fuentes dispersas de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

Fuentes dispersas de contaminación

Las fuentes dispersas de contaminación (NPS, por sus siglas en inglés) son contaminantes que no tienen una entrada definida en las aguas subterráneas y superficiales y que se originan de actividades de uso de los suelos y de la atmósfera (Massachusetts Department of Environmental Protection, 2001).

Los suelos son afectados por disturbios constantemente debido a la actividad humana a través de la agricultura, remoción de corteza terrestre, excavaciones, minería, construcción de viviendas y comercios, y la construcción de carreteras y caminos, como ejemplo de usos más comunes. El suelo liberado por la actividad, está expuesto al proceso de erosión llegando a otros lugares que incluyen las aguas superficiales. En este medio ocurre sedimentación, proceso en el que las partículas de suelo se depositan causando serios problemas al ecosistema.

El sedimento es el mayor contaminante entre las fuentes dispersas, en términos de volumen, en las aguas de Estados Unidos. El sedimento, el cual consiste de partículas de suelo y arena, es el producto de prácticas inadecuadas y pobre planificación de uso del suelo. La construcción de estructuras, carreteras y caminos ocupan el cuarto lugar entre las actividades humanas de mayor aportación (Chiras, 2001c).

Ecuación universal de pérdida de suelo revisado

Para planificar las prácticas de manejo necesarios para manejar los caminos no pavimentados, con el propósito de evitar la erosión, es necesario conocer cuán vulnerables y susceptibles son a la pérdida de suelo causado por el proceso de erosión.

Desde el 1940, científicos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos comenzaron estudios investigativos para desarrollar un procedimiento cuantitativo para estimar la pérdida de suelo en cosechas de maíz. En el 1978, estos científicos crearon la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), el cual contiene una serie de factores que determinan la pérdida de suelo en toneladas por año en un espacio determinado.

La ecuación ha evolucionado y ha sido revisada. Hoy provee técnicas para evaluar numéricamente los efectos del clima, las propiedades de suelos, topografía, el nivel de productividad de cosechas agrícolas, el manejo de residuos agrícolas, las prácticas especiales de conservación de suelos y otras propiedades que afectan la erosión de los suelos. Aunque su utilización inicialmente aplicó a las prácticas agrícolas, en la actualidad, es instrumental y reconocido a nivel mundial para su aplicación donde ocurre perturbación del suelo en prácticas como la construcción y el manejo de caminos no pavimentados (USDA, SEA, 1978).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE, por sus siglas en inglés) fue desarrollada en el 1987, por Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, antes Servicio de Conservación de Suelos (SCS, por sus siglas en inglés). La misma está basada en miles de pruebas de observación en distintos escenarios. La ecuación es ampliamente utilizada por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS, por sus siglas en inglés) y agencias estatales que manejan bosques en los Estados Unidos.

Esta ha sido modificada para ser aplicada en sitios, áreas y zonas para determinar la carga sedimentaria causada por los disturbios naturales y humanos. Los usos típicos de la ecuación RUSLE incluyen predecir los beneficios de diferentes prácticas de manejo, predecir la cantidad de sedimentos que pueden ser atrapadas en charcas de sedimentos y determinar programas o itinerarios de mantenimiento para los diferentes controles.

La NRCS del Área del Caribe ha determinado los diferentes valores estándares que deben ser utilizados en los factores de la ecuación RUSLE para Puerto Rico e Islas Vírgenes de Estados Unidos en su manual Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Caribbean Area (USDA,1995). Estos valores se combinan con factores propios del lugar bajo estudio como el tipo de suelo, el largo y la pendiente como ocurre en el caso de caminos no pavimentados.

La ecuación RUSLE se expresa de la siguiente forma: $A=R*K*LS*C*P$ (Institute of Water Research, 2002; Renard et al., 1997) donde:

A es el promedio estimado de pérdida de suelo en toneladas por acre para un periodo de tiempo (año).

R es la erosividad. Que es el efecto del factor de energía de la lluvia (volumen, distribución, intensidad y duración) y la cantidad de escorrentía relacionada a la lluvia.

K es el factor de erodabilidad de los suelos. Que es la susceptibilidad del suelo a erosión debido a su textura y características y su influencia sobre la pérdida de suelos durante periodos de lluvias.

LS son los factores del efecto de la longitud y la pendiente del camino (el valor combinado del efecto de los dos factores).

C es el grado de cobertura vegetativa del suelo, si alguno.

P es el factor de la práctica de manejo o conservación existente, si alguno.

Al obtener el estimado de la pérdida de suelo de los caminos no pavimentados podemos evaluar y entender su vulnerabilidad a la erosión y planificar adecuadamente las Mejores Prácticas de Manejo (BMPs, por sus siglas en inglés).

Mejores prácticas de manejo (MPM)

Las MPM o BMPs son procedimientos de prácticas probadas utilizadas para evitar la contaminación de aguas superficiales. Estas deben aplicarse antes, durante y después de diferentes actividades de usos de suelos. Algunas actividades son el uso y la aplicación de plaguicidas, actividad de uso en las orillas de los cuerpos de agua, operaciones forestales, quema controlada, construcción y operación de maquinaria pesada y el uso y mantenimiento de caminos no pavimentados y veredas (USDA, Forest Service, 1990).

Las MPM para los caminos no pavimentados son técnicas estructurales o no estructurales que son reconocidas y probadas en ser las medidas prácticas más efectivas en prevenir y reducir fuentes dispersas de contaminación (Massachusetts Department of Environmental Protection, 2001). La EPA, agencias de gobierno estatal e instituciones universitarias han contribuido en identificar nuevas e innovadoras prácticas de manejo y han desarrollado numerosos manuales que sirven de guías para el diseño y mantenimiento de caminos no pavimentados. Los manuales están todos dirigidos a prevenir y reducir las fuentes dispersas de contaminación.

Los caminos no pavimentados son una fuente reconocida de sedimentos en las aguas superficiales. Estas son la mayor fuente de contaminación en los bosques madereros donde contribuyen con hasta 90% del total de producción de sedimentos que provienen operaciones forestales (EPA, 2010).

Las MPM están diseñadas para minimizar y controlar el proceso de erosión con el propósito de que el suelo liberado no llegue a las aguas superficiales y se sedimenten. La sección 319 de la Ley Federal de Control de Contaminación de Aguas de 1972 (33 U.S.C. sec. 1251-1387), conocida como la Ley de Aguas Limpias (Clean Water Act) define el término de Mejores Prácticas de Manejo (MPM) como una práctica o medida que ha demostrado ser exitosa en proteger los recursos de agua de los Estados Unidos de las fuentes dispersas de contaminación (USC, 2002; Welsh, Ryder & Post, 2006).

Los principios de las MPM son controlar el flujo de agua, estabilización del suelo perturbado, manejar contaminantes químicos, minimizar los impactos biológicos y planificar la operación (Welsh, Ryder & Post, 2006).

El manual de Control de Erosión y Sedimentación de Puerto Rico divide en categorías las prácticas de control de erosión en prácticas primarias y secundarias. Las primeras tienen como propósito mantener los suelos en su sitio y los protegen de factores que pueden removerlos. Las secundarias trabajan con los suelos que ya han sido erodados y evitan que las partículas de suelo lleguen y contaminen los cuerpos de agua.

Utilizar MPM de manera preventiva y rutinaria reduce los costos de reparación de caminos y evita problemas de calidad de agua. En aquellos casos en las que se recomienden MPM, estas se determinarán de acuerdo a evaluación de las características que presente cada camino en particular. La aplicación de MPM podrá ser diferente o similar en cada caso. Cada camino tiene características particulares que podrán ser atendidas por uno o más MPM o la combinación de varias estrategias de manejo.

El nivel de las pendientes y la longitud de los caminos son factores importantes que influyen en el potencial de erosión y transporte de sedimentos y deben ser considerados al seleccionar medidas de control o Mejores Prácticas de Manejo (Turton, Stebler & Smolen, 2007). Por otro lado, sólo se debe aplicar las MPM en las secciones de los caminos que lo requieran sin perturbar el resto del camino y evitar el mantenimiento en épocas de lluvias frecuentes especialmente en caminos cercanos a aguas superficiales o que crucen áreas de desagüe natural.

En el proceso de determinar la posible aplicación de MPM se evalúa si es recomendable el cierre del camino y buscar medios alternos para el mismo. Entre los factores que determinan recomendar el cierre de un camino esta su ubicación, inclinación, vulnerabilidad a derrumbes e inundabilidad o incapacidad para drenar las aguas de escorrentías y las características del suelo. Más importante aún para recomendar el cierre se evalúa su cercanía a la costa y potencial para aportar sedimentos a las aguas superficiales o al ambiente marino.

Siempre que sea posible, los sistemas de caminos no pavimentados deben ser diseñados para reducir al máximo el largo, el ancho y el número de lugares donde estos crucen quebradas o ríos o áreas por donde fluyen las escorrentías. Los caminos deben seguir la forma natural del perfil o contorno de las elevaciones y deben evitar los lugares demasiado inclinados, las áreas propensas a derrumbes y los suelos de poco drenaje.

Por otro lado, el disturbio de los caminos sin tomar en consideración MPM y el fallar en no proveer desagües adecuados resultará en el deterioro acelerado y minimizará el tiempo útil del camino lo que conlleva al cierre. El mantenimiento apropiado de los caminos no pavimentados y cierre de los mismos cuando no se utilicen o no son apropiados evitará que estos se conviertan en fuentes de contaminación.

Es claro que existe una necesidad de manejo de caminos no pavimentados. Estos caminos por su naturaleza de topografía y diseño pueden, si no son manejadas apropiadamente, contribuir de manera significativa a problemas de calidad de agua. Algunas de las MPM más comunes diseñadas para controlar la erosión en caminos no pavimentados son:

1. Eliminar o cerrar caminos y construir caminos alternos. En aquellos caminos eliminados o cerrados se recomiendan prácticas de mitigación para eliminar el problema de erosión.
2. Alcantarilla de madera o tajea abierta, (*Open Top Box Culvert*) – Se instala una estructura en madera que atraviesa el camino que recibe y desvía las escorrentías hacia la pendiente del camino y fuera de este.
3. Zanja de desviación, (*Water Bar or Cross Ditch*) – Se construyen zanjas diagonales en el camino o montículos para desviar el agua de escorrentía hacia la pendiente o inclinación del camino.
4. Inclinación o pendiente de caminos, (*Road Sloping*) – Se mecaniza el camino para crear una pendiente hacia un lado que hará que las escorrentías se desvíen hacia la pendiente a lo largo de todo el segmento del camino.

5. Badén largo, (*Rolling Dip*) – Se mecaniza el camino para crear promontorios cada cierta distancia que impida que la escorrentía corra a lo largo de los caminos creando zanjas de escorrentía.

Este método es utilizado en caminos largos con pendientes más inclinados. Mientras más inclinada la pendiente menor distancia debe existir entre promontorios.

6. Trampas de sedimentos, (*Sediment Traps*) – Se construyen trampas para retener y precipitar sedimentos.

La erosión no solo afecta las aguas superficiales y el ambiente marino, si no que promueve el daño de las escorrentías sobre los caminos no pavimentados y hacen que estas sean intransitables. El manejo adecuado de los caminos no pavimentados en la zona costanera es importante para conservar el ambiente marino.

Los sedimentos o partículas de suelo que llegan a las costas quedan suspendidos en la columna de agua marina impidiendo la entrada de luz y como consecuencia afectando vitales procesos biológicos. Aunque los sedimentos pueden depositarse se suspenden nuevamente por los efectos del oleaje manteniendo la turbidez del ambiente marino (Acevedo, Morelock & Olivieri, 1989; Frank & Brownstone, 1992).

Estudio de casos

Se han hecho varios estudios sobre el alto potencial que tienen los caminos no pavimentados para contribuir a la sedimentación de aguas superficiales y marinas así como la incorporación de Mejores Prácticas de Manejo y como estos contribuyen a minimizar la erosión de manera significativa. A continuación se mencionan algunos:

Stillwater Creek, Oklahoma:

En el 2007 en la cuenca de Stillwater Creek, Oklahoma, Turton, Stebler & Smolen, estudiaron el transporte de sedimentos de dos caminos rurales no pavimentados por un periodo de dos años en la que ocurrieron 60 tormentas. Los caminos no pavimentados estudiados fueron seleccionados por ser representativos de varios que se encuentran dentro de la cuenca.

El largo de los mismos era de 160-260 metros y fueron construidos sin consideraciones de ingeniería. Por ejemplo, el mantenimiento era muy pobre y sus zanjas laterales que drenaban directamente en aguas superficiales. Durante el periodo del estudio se instalaron trampas de sedimentos para documentar los datos del transporte.

En dos caminos se utilizaron Mejores Prácticas de Manejo a un lado de cada camino y en otro no se instalaron medidas de control de erosión durante el segundo período del estudio. Los resultados obtenidos mostraron que durante el primer período, sin MPM, se transportó 64,000 kilogramos por kilómetro (Kg/Km) de sedimentos provenientes de los cuatro segmentos laterales de los dos caminos.

Durante el segundo período, una vez instaladas las medidas de control de erosión (MPM), se concluyó que los MPM redujeron la erosión significativamente a un 50-80% demostrando que el sedimento proveniente de los caminos no pavimentados es una fuente significativa de la carga de sedimentos en aguas superficiales. Por lo tanto, la instalación de MPM pueden ser efectivos en disminuir la carga y deben ser incluidos en la planificación y manejo para lograr estándares de calidad de agua (Turton, Stebler & Smolen, 2007).

Cuenca de Villa Borinquen, Vieques:

En la cuenca de Villa Borinquen en Vieques se llevó a cabo un estudio, para determinar el potencial de la carga de sedimentos por erosión al ambiente marino. El estudio se realizó utilizando un modelo adaptado que fue desarrollado para la isla de Saint John; US Virgin Islands, en el cual aplicó una base de Sistemas de Información Geográfica (GIS) del modelo STJ-EROS (Ramos-Scharron, 2004; Ramos-Scharron & McDonald, 2007).

La versión completa de este modelo estima la carga de sedimentos para caminos no pavimentados, las riveras, las quebradas, los pendientes y laderas de quebradas, entre otros. Se basa en funciones empíricas de producción de sedimentos y promedios de carga sedimentaria.

El estudio encontró que el 99% de la aportación de carga sedimentaria proviene de caminos no pavimentados. A raíz de estos resultados Ramos-Scharron concluyen que un total de 18.2 km de caminos no pavimentados en el área de Villa Borinquen son responsables de aportar .00435 kg ó 435 mg de sedimentos cada año al ambiente marino según el modelo STJ-EROS.

Islas Vírgenes de los Estados Unidos:

El territorio de las Islas Vírgenes incluye las islas de Saint Thomas, Saint Croix y Saint John. La alta incidencia de desarrollo de las Islas Vírgenes en las pasadas décadas ha resultado en un incremento en las aportaciones de las cargas de sedimentos en las costas y a un deterioro de la calidad de aguas marinas.

En el 2007, la Administración Nacional para la Oceanografía y la Atmósfera (NOAA) preparó un Plan de Investigación para el Ecosistema de Arrecifes de Coral 2007-2011, que incluye Saint Thomas y Saint Croix. En ella recomienda la aplicación del modelo de aportación sedimentaria basado en Información de Sistemas Geográficas (GIS Based Sediment Delivery Models) STJ-EROS para los caminos no pavimentados que fue desarrollado para la isla de St. John debido a que las islas cuentan con características geográficas y climatológicas similares. El Plan recomienda la aplicación de Mejores Prácticas de Manejo (MPM) para el control de erosión en las áreas identificadas (NOAA, 2007).

Bahía Fish Bay, St. John; Islas Vírgenes de Estados Unidos:

En la bahía Fish Bay localizada en la isla de St. John, US Virgin Islands, se ejemplifica el tipo de impacto que pueden tener las cargas sedimentarias sobre los ecosistemas marinos. Para la bahía de Fish Bay se utilizó el modelo STJ-EROS, ecuación desarrollada para las características de la Isla, y esta identificó que los caminos no pavimentados eran los mayores contribuidores de sedimentos a la bahía.

Algunos segmentos de caminos no pavimentados contribuyeron con más de dos toneladas de sedimentos por año en la bahía. En total, estos caminos son responsables por el 85% de los sedimentos que alcanza el ambiente marino de la bahía Fish Bay (Ramos-Sharron, et al, 2007). La pobre calidad del ambiente marino se refleja en un 51% de cobertura de macro algas, menos de 15% en cobertura coralina, alta sedimentación de hasta 11 miligramos por centímetros cuadrados diarios ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{día}$) y alta turbidez (Ramos-Sharron, Lindsay & Bacle, 2007).

Como resultado de una revisión de literatura de métodos de control de erosión en caminos forestales los investigadores identificaron Mejores Prácticas de Manejo para ser aplicados y monitoreados en la cuenca. Además se incluyeron 13 trampas de sedimentos para monitorear la carga sedimentaria que se esté desviando del ambiente marino.

Marco legal

Existen varias leyes, federales y estatales diseñadas para proteger los recursos marinos y a su vez permitir el disfrute sustentable de los mismos. Identificaremos aquellas leyes y reglamentos relacionados a la conservación del ambiente marino y a la conservación y uso de los suelos. Sin embargo, cabe señalar que muchas de las comunidades en la isla municipio de Vieques fueron creadas a través de la ocupación ilegal o “rescate” de terrenos que estaban bajo la jurisdicción del Departamento de la Defensa de los Estados Unidos en la que no aplicaban las leyes estatales al momento de estas ser ocupadas.

Como se mencionó en el trasfondo histórico, este es el caso de Villa Borinquen, una de las comunidades de mayor crecimiento y actividad en Vieques. En este caso la comunidad se desarrolla y crece sin ningún concepto de planificación urbana.

Además, el impacto sobre la zona es mayor debido al deseo de los invasores de ocupar y desmontar amplias extensiones de terrenos para segregarlos con intención de ocuparlos o venderlos. Las parcelas ocupadas son desiguales en área o metros cuadrados y pueden tener tamaños desde 800m² a más de 3,800m² y en algunos casos varios acres o cuerdas.

En la actividad de ocupación de terrenos y la construcción de vías o caminos de acceso en estas comunidades se ignoran todas las leyes y reglamentos que aplican a la

construcción planificada y remoción de corteza terrestre. Aunque los ocupantes están conscientes de la violación de leyes y reglamentos, estos ignoran los alcances de los impactos ambientales que pueden ocasionar mediante prácticas incorrectas de sus acciones. Un ejemplo común, es la remoción total de vegetación y corteza terrestre en las pendientes de la zona de la cuenca y la construcción de caminos inadecuados.

Entre las agencias del gobierno de Puerto Rico, la Junta de Calidad Ambiental es la agencia gubernamental facultada para desarrollar reglamentación relacionada a la calidad de las aguas de Puerto Rico y recomendar al Gobernador o Gobernadora aquella política pública que sea necesario para preservar y proteger los recursos naturales del país. El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) es la agencia de gobierno que establece y enmienda aquellos reglamentos dirigidos a la conservación de los recursos de agua incluyendo las costas y su ambiente marino.

El DNRA también crea el Reglamento para Regir la Extracción, Excavación, Remoción y Dragado de la Corteza Terrestre, Reglamento Núm. 6916 del 17 de diciembre de 2004 que aplica a la actividad que ocurre en el área de Villa Borinquen. Este documento reglamenta la extracción, excavación, remoción y dragado de los componentes de la corteza terrestre llamados arena, grava, piedra, sílice, calcita, arcilla, y cualquier otro componente similar de la corteza terrestre, que no esté reglamentado como mineral económico, en terrenos públicos y privados de Puerto Rico.

Es el DRNA quien tiene la facultad de velar por el problema de erosión y sedimentación en aguas territoriales de nuestras costas y según la ley 136 de 3 de junio de 1976 se responsabiliza al DNRA para preparar un Plan Integral de Conservación, Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua en Puerto Rico.

La Junta de Planificación (JP) regula la zonificación y el uso de los terrenos en Puerto Rico y basado en esto es que se planifica donde es viable la ubicación de residencias y otra infraestructura. La Junta de Planificación tiene la visión de planificar el desarrollo de Puerto Rico basado en tres principios fundamentales; economía competitiva, ambiente sana y mejoramiento de nuestra calidad de vida.

En el caso de Villa Borinquen, en el momento de la ocupación, los terrenos pertenecían al Departamento de la Defensa de los Estados Unidos. Estos cedieron los terrenos ante la ocupación por lo que los terrenos no estaban zonificados por la Junta de Planificación. Sin embargo, la JP tiene la responsabilidad de guiar a los municipios en sus planes de uso de suelos a fines con la visión establecida.

La Ley 550 crea el Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico, (JP, 2004) y la Ley Núm. 81 del 30 de agosto de 1991, la Ley de Municipios Autónomos que provee a los municipios la facultad para preparar planes que ordenan el uso de sus terrenos. Sin embargo, aunque el Municipio de Vieques es Autónomo, su plan fue desarrollado luego de la ocupación por lo que la zona es identificada como suelo urbano y permite que los residentes continúen con las actividades de urbanización de los suelos.

Ley Núm. 241 de 15 de agosto de 1999, Nueva Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico (DNRA, 1999), se crea con el propósito de proteger, conservar y fomentar las especies de vida silvestre tanto nativa como migratoria.

A través de esta Ley se pretende actualizar y reenfocar los principios promulgados en la Ley núm. 70 del 30 de mayo de 1976, en concordancia con la información científica recopilada, privilegios y disfrute de los recursos de vida silvestre y medio ambiente. La erosión y sedimentación que producen los caminos no pavimentados de Villa Borinquen

amenazan seriamente la vida y ecosistema del ambiente marino ubicada donde descarga la cuenca.

El Reglamento Núm. 4860, Reglamento del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales para el aprovechamiento, vigilancia, conservación y administración de las aguas territoriales, terrenos sumergidos y la zona marítima terrestre también aplica en este caso ya que ecosistemas como los arrecifes de coral y praderas de yerbas marinas que habitan aguas sobre terrenos sumergidos son altamente sensitivos a la sedimentación.

La Ley 122 del 19 de septiembre de 1997, (DA, 1997) tiene el propósito de facultar Departamento de Agricultura a través de la Administración de Servicios y Desarrollo Agropecuario a reglamentar la prestación de sus servicios e incentivos a agricultores. Las mismas están sujetas a que estos utilicen las mejores prácticas de conservación de suelos para evitar la erosión de fincas agrícolas, la conservación del ambiente, acuíferos, ríos subterráneos y aguas superficiales. Sin embargo esta Ley no aplica, ya que en los terrenos de Villa Borinquen no se evidencia actividad agrícola a nivel comercial.

La Ley sobre Política Pública Ambiental, Ley número 416 de 22 de septiembre de 2004, delega en la Junta de Calidad Ambiental establecer una política pública que estimule una deseable y conveniente armonía entre el hombre y su medio ambiente, fomente los esfuerzos que impedirían o eliminarían daños al ambiente y a la biósfera y estimulen la salud y el bienestar del hombre. Además de enriquecer la comprensión de los sistemas ecológicos y fuentes naturales importantes para Puerto Rico.

El Reglamento para el Control de la Erosión y Prevención de la Sedimentación del 23 de marzo de 1998, de la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (JCA) es un reglamento aplicable. La JCA y el DRNA determinaron la necesidad de desarrollar y

adoptar este reglamento para prevenir y controlar la contaminación de las aguas de Puerto Rico y de otros recursos. El Reglamento aplica a todas las actividades desempeñadas por el humano que puedan propiciar o causar erosión del terreno.

Esto incluye desmontes, remoción de la cubierta vegetativa de los suelos, construcción de estructuras y cualquier actividad que conlleve la alteración de las condiciones de terreno incluyendo la segregación de solares entre otros. Este es otro reglamento que está relacionada directamente con la actividad humana en Villa Borinquen específicamente con el desmonte y la segregación de solares ocupados.

Por otro lado, la Ley 211 del 1946 Ley de Distrito de Conservación de Suelos, faculta al Departamento de Agricultura Federal, (USDA, 1947) para llevar a cabo investigaciones y experimentos relacionados con la conservación de suelos, la prevención y el control de erosión.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación es una cualitativa basada en análisis de información, documentos, visitas de campo y observaciones directas. Para la selección de los caminos, tomamos en consideración el resultado de la evaluación y análisis de varios factores y fuentes de datos.

Una de las consideraciones se basó en la evaluación de resultados obtenidos del promedio estimado de pérdida de suelo de los caminos no pavimentados calculado con la ecuación RUSLE, por el Servicio de Extensión Agrícola (SEA). Estos resultados reflejaron los caminos con mayor promedio estimado de pérdida de suelos en el área.

Con esta información preparamos un mapa utilizando el Sistema de Información Geográfico (GIS, por sus siglas en inglés) para localizar los caminos y conocer su ubicación con relación al ambiente marino. Identificamos los caminos en el mapa utilizando colores que representan su potencial de pérdida de suelo.

Llevamos a cabo visitas de campo, con el grupo de trabajo del SEA y de forma individual para evaluar los caminos. Durante las visitas evaluamos, documentamos y tomamos fotografías de las condiciones físicas, el deterioro y la cercanía de los caminos al ambiente marino.

Determinamos y evaluamos las características de los suelos de los caminos seleccionados. Para esto, utilizamos el Catastro Geográfico de Suelos (SSURGO, por sus siglas en inglés), preparado para Puerto Rico por el NRCS.

Para recomendar las MPM aplicables para los caminos seleccionados utilicé guías y manuales de Mejores Prácticas de Manejo para caminos no pavimentados preparados por instituciones y agencias reconocidas. Con la información de estos documentos, visitas de campo a los caminos seleccionados y mediante el proceso observación y evaluación determiné las MPM aplicables.

Área de estudio

Llevamos a cabo este estudio en los caminos no pavimentados del área de la cuenca hidrográfica de Villa Borinquen en el barrio Villa Borinquen en Vieques. El área de estudio, mide unos 3.2km² y se encuentra al este del pueblo de Isabel II y al sur de la carretera estatal número 200, el cual se ubica cerca y paralela a la costa norte de la Isla (Figura 1).

Objetivos

1. Evaluar la información recopilada por el estudio del Servicio de Extensión Agrícola y sus colaboradores sobre los caminos y segmentos de caminos no pavimentados en la cuenca de Villa Borinquen.

Obtuvimos los cálculos de la ecuación de RUSLE para los 186 caminos y segmentos de caminos no pavimentados identificados en el área de la cuenca de Villa Borinquen realizado por el grupo de trabajo del Servicio de Extensión Agrícola.

Estos prepararon una tabla utilizando el programa Excel de Microsoft, donde se muestra para cada camino o segmento la pendiente, el largo de los mismos en pies y metros, los factores y resultados de la ecuación RUSLE, el área ocupado por los caminos y su ubicación. Esta información nos permitió evaluar los caminos e identificar aquellos caminos con mayor promedio estimado de pérdida de suelo.

Preparamos un mapa utilizando el Sistema de Información Geográfico (SIG) o (GIS, por sus siglas en inglés), donde se muestran todos los caminos y los 20 cuyos resultados según la ecuación RUSLE fueron los más altos en su promedio estimado de pérdida de suelo. Este mapa muestra todos los caminos y segmentos de caminos identificados con colores que corresponden a su promedio estimado de pérdida de suelo. (Figura 2).

Determinamos además las posiciones geográficas de los caminos dentro del área de estudio utilizando el instrumento de Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés). Con la información obtenida de la ecuación RUSLE, y observando la cercanía de algunos caminos al ambiente marino, realizamos una preselección de caminos para llevar a cabo las visitas de campo necesarias para la selección final de los caminos o segmentos de caminos no pavimentados.

2. Identificar y seleccionar los caminos o segmentos de caminos (10) con alto potencial de erosión, mayores estimados de pérdida de suelo, mayor proximidad al ambiente marino y condiciones de deterioro.

Organizamos y realizamos tres visitas de campo al área de estudio junto al grupo de trabajo de la Oficina de Ingeniería y Biosistemas del Servicio de Extensión Agrícola en las que identificamos, evaluamos y seleccionamos la muestra de los 10 caminos o segmentos de caminos para las cuales recomendé las MPM. En las visitas a los caminos evaluamos elementos como las condiciones físicas de los caminos tomando en cuenta su deterioro, evidencia de erosión (presencia y profundidad de cunetas, cuentones y zanjas de escorrentía), evidencia de flujo o de acumulación de agua o sedimentos sobre la superficie y ausencia de drenaje entre otros.

Recopilamos y tabulamos información sobre cada camino seleccionado. La Tabla 1 muestra para cada camino o segmento de camino seleccionado su posición en latitudes (lat) longitudes (lon) según el Sistema de GPS, el largo en metros (m) y pies (p) y el ancho promedio en metros (m). La Tabla 2 muestra, para cada camino o segmento de camino el nombre y la serie de suelo y el espacio que ocupa el camino o segmento en acres (ac) y metros cuadrados (m²).

La Figura 3 es un mapa que muestra los caminos seleccionados según el Sistema de Información Geográfico. En este mapa los caminos o segmentos están representados en colores que representan su pérdida promedio estimado de suelos en toneladas por acre por año.

La Tabla 3 muestra, para cada camino seleccionado, los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisado y el resultado del promedio de pérdida de suelo en toneladas por acre por año. A continuación se describen los caminos seleccionados:

Los caminos 1, 2, 3, 4, 5, 6 son segmentos de caminos de uno más largo que mide 708m. Se dividió en segmentos de caminos por sus diferencias en pendientes ya que el factor pendiente es determinante para seleccionar las MPM para cada una de ellas.

Segmento de Camino 1:

El segmento de Camino 1 (Figura 3) tiene su inicio ubicado en la lat 18.15775, lon -65.42675 y termina en la lat 18.1564, lon -65.42610 según el SPG. El nombre y tipo de suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 6%. Por su porcentaje de inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como bajo o moderado.

El segmento mide 162m ó 531.36p de longitud, 3.6m ancho y cubre un espacio de 0.1441ac. Según el cálculo de la ecuación RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es 21.86301 ton/ac/año. Este segmento se encuentra aproximadamente 152m de la costa y es la entrada hacia los segmentos de caminos 2, 3, 4, 5, y 6.

Segmento de Camino 2:

El segmento de Camino 2 (Figura 3) tiene su inicio ubicado en la lat 18.15610, lon -65.42593 y termina en la lat 18.15640, lon -65.42612 según el SPG. El nombre y tipo de suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 5%. Por su porcentaje de inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como bajo o moderado.

El segmento mide 40m ó 131.2p de longitud con un ancho promedio de 2.9m y ocupa un espacio de 0.027947ac ó 113.1m². Según el cálculo de la ecuación RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es de 11.34149 ton./ac/año.

Segmento de Camino 3:

El segmento de Camino 3 (Figura 3) tiene su inicio ubicado en la lat 18.15470, lon -65.42413 y termina en la lat 18.15610, lon -65.42593 según el SPG. El nombre y tipo de suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 8%. Por su porcentaje de inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como moderado a alto.

El segmento mide 248m. ó 813.44p. de longitud y tiene un promedio de ancho de 3m ocupando un espacio de 0.188294ac ó 762m². Según el cálculo de la ecuación RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es de 36.97850 ton./ac/año.

Segmento de Camino 4:

El segmento de Camino 4 (Figura 3) tiene su inicio en la lat 18.15390, lon -65.42388 y termina en la lat 18.15470, -65.42413 según el SPG. El nombre y tipo del suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 2%. Por la inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como bajo o moderado.

El segmento mide 93m. ó 304.04p. longitud y 2.5m ancho ocupando un espacio de 0.057452ac ó 232.5m². Según el cálculo de la ecuación de RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es de 5.879903 ton./ac/año.

Segmento de Camino 5:

El segmento de Camino 5 (Figura 3) tiene su inicio ubicado en la lat 18.15303, lon -65.42300 y termina en la lat 18.15390, lon -65.42388 según el SPG. El nombre y tipo de suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 12%.

Por la inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como moderado a alto potencial, siendo una pendiente de 15% o más una clasificación de alto a muy alto potencial. Este segmento mide 141m. ó 462.48p. de longitud y 3.2m de ancho ocupando un espacio de 0.113866ac ó 460.8m². Según el cálculo de la ecuación RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es de 57.13142 ton./ac/año.

Segmento de Camino 6:

El segmento de Camino 6 (Figura 3) tiene su inicio ubicado en la lat 18.15301, lon -65.42298 y termina en la lat 18.15323, lon -65.42286 según el SPG. El nombre y tipo de suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 8%. Por la inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como moderado a alto potencial.

Este segmento mide 21m. ó 68p. de longitud y 2.7m de ancho ocupando un espacio de 0.020015ac o 81m². Según el cálculo de la ecuación de RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es de 19.48209 ton./ac/año.

Camino 7:

El Camino 7 (Figura 3) tiene su inicio en la lat 18.15831, lon -65.4224 y termina en la lat 18.15869, lon -65.4224. El nombre y tipo de suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 6%. Por la inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como bajo a moderado potencial.

Este camino mide 43m. ó 141.04p. de longitud y 3.5m de ancho y ocupa un espacio de 0.037189ac ó 150.5m². Según el cálculo de la ecuación de RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es de 12.85003 ton./ac/año.

Segmento de Camino 8:

El segmento de Camino 8 (Figura 3) es el principio de tres segmentos que componen un camino. Este segmento inicia su ubicación en la lat 18.15754, lon -65.4219 y termina en la lat 18.15654, lon -65.42269. El nombre y tipo de suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 6%.

Por la inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como bajo a moderado potencial. Este camino mide 150m. ó 492p. de longitud y 3.2m de ancho y ocupa un espacio de 0.1186ac ó 480m². Según el cálculo de la ecuación de RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es de 21.36402 ton./ac/año.

Segmento de Camino 9:

El segmento de Camino 9 (Figura 3) tiene su inicio ubicado en la lat 18.15654, lon -65.42269 y termina en la lat 18.15618, lon -65.4221 según el SPG. El nombre y tipo de

suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 13%. Por la inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como moderado a alto potencial.

Este segmento mide 84m. ó 275.52p. de longitud y 3.2m de ancho ocupando un espacio de 0.0664ac o 268.8m². Según el cálculo de la ecuación de RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es de 55.14152 ton./ac/año.

Segmento de Camino 10:

El segmento de Camino 10 (Figura 3) tiene inicio ubicado en la lat 18.15636, lon - 65.42274 y termina en la lat 18.1532, lon-65.42259. El nombre y tipo de suelo es Vieques Descalabrado y tiene una pendiente de 15%.

Por la inclinación de su pendiente el SSURGO clasifica su potencial de erosión como moderado a alto potencial. Este segmento mide 94m. ó 308.32p. de longitud y 2.4m de ancho ocupando un espacio de 0.0557ac ó 225.6m². Según el cálculo de la ecuación de RUSLE su promedio estimado de pérdida de suelo es de 71.83223 ton./ac/año.

3. Recomendar las MPM para los caminos o segmentos de caminos no pavimentados seleccionados.

Utilicé guías de MPM en visitas de campo al área de estudio para determinar las prácticas de manejo que aplican en los caminos seleccionados, algunas de estas fueron:

a) Manual *Puerto Rico Erosion and Sediment Control Handbook for Developing Areas*. La NRCS y la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (JCA) (2005), desarrollaron este manual para servir de guía en la prevención y control de erosión y sedimentos en construcciones y desarrollos a nivel local. El mismo describe Mejores Prácticas de Manejo (MPM) en detalle y expone los elementos básicos de prevención de erosión y control de sedimentos antes y durante una actividad de construcción.

b) *Manual Recommended Practices Manual: A Guideline for Maintenance and Service of Unpaved Roads* desarrollado por el Choctawhatchee, Pee and Yellow Rivers Watershed Management Authority (2005), el USFWS y la EPA. En este manual se describen e ilustran técnicas costo efectivas y prácticas que pueden ser utilizadas para mejorar la estabilidad y el mantenimiento de caminos no pavimentados, a la vez que reducen la sedimentación y mejoran la calidad de las aguas superficiales. El manual contiene ejemplos, figuras y fotografías que permiten entender de manera sencilla cómo se deben aplicar MPM en los caminos no pavimentados para reducir la posibilidad de erosión.

c) *Manual Best Management Practices for Forest Road Construction and Harvesting Operations in Oklahoma; Cooperative Extension Service, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University (s.f.)*. Este manual fue desarrollado por el Servicio de Extensión Agrícola de este Estado y contiene MPM comunes y prácticos para caminos no pavimentados. El mismo provee para establecer prácticas de manejo en caminos forestales donde la actividad de cosecha maderera, desmonte y construcción de caminos para accesar los árboles contribuyen significativamente a la contaminación de las aguas superficiales.

El manual presenta las recomendaciones básicas para la construcción de caminos y prácticas madereras que previenen la erosión de los suelos perturbados evitando su movimiento hacia ríos y otros cuerpos de agua.

d) *El Forest * Asist Online Program; Tools to Protect, Enhance and Manage Private Woodlands*. Este es un recurso en línea, desarrollado por el United States Department of Agriculture, Forest Service, (1990) provee información escrita, graficas, video y audio sobre distintos aspectos de manejo y conservación de vida silvestre y los

recursos que la sostienen. En el mismo existen herramientas para asistir a dueños de terrenos privados que contienen bosques por donde fluyen o existan cuerpos de agua, para que puedan aplicar MPM en la construcción de caminos nuevos y el mantenimiento de los caminos existentes.

e) Guía del *Maine Department of Environmental Protection; Bureau of Land and Water Quality, BMP Guides* (s.f.). El Departamento de Protección Ambiental del Estado de Maine también desarrolló una herramienta en línea en la que provee una serie de veinte hojas informativas o educativas de prácticas de conservación y MPM de aplicación sencilla que pueden utilizarse para proteger la calidad aguas superficiales.

f) Guía *The Massachusetts Unpaved Roads BMP Manual; A Guidebook on How to Improve Water Quality While Addressing Common Problems*. Este manual práctico fue preparado por el Departamento de Protección Ambiental de Massachusetts y la EPA, (MDEP & USEPA, 2001) para oficiales de mantenimiento de caminos no pavimentados. El mismo identifica problemas que causan la erosión y cómo prevenirlos aplicando MPM.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo recomendamos Mejores Prácticas de Manejo (MPM) aplicables, económicas y de bajo mantenimiento, para 10 caminos o segmentos de caminos no pavimentados en el área de estudio (Figura 1) de la cuenca de Villa Borinquen, en Vieques los cuales presentan mayor amenaza al ambiente marino. En dos visitas preliminares al área, en octubre del 2009, evaluamos los caminos no pavimentados junto al grupo de estudio del Servicio de Extensión Agrícola y comprobamos la información generada por los estudios mencionados de Ramos-Scharron, 2009. En el área, observamos que los caminos no pavimentados carecían de medidas de conservación para el control de la erosión.

No encontramos caminos que hayan sido pavimentadas recientemente. Los caminos presentaban evidencia de erosión limitada a severa y se observó derrumbes o desplomes de secciones. Otros presentaban evidencia de inundación o retención de precipitación pluvial y escorrentías que limitaban su acceso.

Durante el 2010 y 2011, realizamos 13 visitas de campo. Durante estas visitas observamos que en el área existe gran actividad de movimiento de vehículos, maquinaria pesada (excavadoras y vehículos de transporte de material de construcción, de relleno y tierra), actividad de limpieza y desmonte o remoción de corteza terrestre y preparación de terraplenes para la construcción de viviendas en cemento y madera.

Los caminos existentes no pavimentados de mayor tránsito son mecanizados frecuentemente, por los residentes, para mantenerlos transitables. Esta actividad hace que los caminos sean sumamente inestables y vulnerables al proceso de erosión.

Algunos caminos han sido abandonados debido a que el deterioro severo causado por la erosión causó daños irreparables. Nuevos caminos se construyeron y se construyen para sustituir a los caminos abandonados.

Los caminos existentes drenan sus aguas a través de sus superficies hasta las costas. Observamos acumulación de suelo erodado proveniente de los caminos no pavimentados sobre la carretera estatal 200 que corre paralela a la costa. Esto es indicio de que el suelo erodado está llegando al ambiente marino.

El movimiento de escorrentías sobre la superficie de los caminos es evidenciado por las cunetas y cuentones observados que se forman al erosionarse el suelo. Observamos casos en que los suelos erodados de los caminos afectan las viviendas, debido a que se acumulan en los patios y predios causando problemas de inundabilidad y acceso.

No observamos prácticas de manejo o de conservación para evitar la erosión aunque si observé segmentos de caminos en buen estado y parcialmente cubiertos por vegetación. Asumimos que estos caminos eran poco transitadas o utilizadas por la comunidad.

Según los objetivos de este estudio recomendamos Mejores Prácticas de Manejo para diez caminos no pavimentados seleccionados basado en su promedio estimado de pérdida de suelo (RUSLE), su proximidad al ambiente marino y sus características y condiciones de deterioro existente por causa del proceso de erosión.

En nuestro análisis del Catastro Geográfico de Suelos (SSURGO) del Área de Humacao del Este de Puerto Rico, encontramos que dentro del área de estudio existen tres suelos principales. En el área de la costa el suelo es Cataño Limo Arenoso (Cf), que es un suelo nivelado de poca capacidad de retención de agua, permeabilidad rápida y baja fertilidad. Al pie de las cuencas se encuentran suelos arcillosos Jacana (JaC2), erodados con pendientes de 5-12%.

Estas son áreas semiáridas con peligro de erosión donde se requiere buen manejo y prácticas de conservación para minimizar la pérdida de la capa superior de suelo. El tercer tipo de suelo que encontramos en el área de estudio es el Vieques Descalabrado (DgF2) con pendientes de 20 a 60% donde ocurren escorrentías rápidas con alta erodabilidad lo que es una limitación severa para cualquier actividad humana (National Cooperative Soil Survey, 1969). Observé que los suelos Vieques Descalabrado son los tipos suelos que encontramos en los caminos seleccionados (Figura 4).

El promedio de pendientes de los caminos no pavimentados en la cuenca de es de 8% (Ramos-Scharron, 2009,) por lo que su potencial de erosión está en un 7-15%, lo cual los posiciona en la categoría de moderado a alto (Ali & Said, s.f.; National Cooperative Soil Survey, 1969). En este análisis, observamos que el SSURGO categoriza el potencial de erosión de un suelo según su promedio de pendientes. En los caminos no pavimentados el potencial de erosión está relacionado a la inclinación de la pendiente.

Según estos, las siguientes categorías pueden ser utilizadas como guía para determinar el potencial de erosión

0-7% de pendiente es potencial bajo o moderado

7-15% de pendiente es moderado a alto potencial

Sobre 15% de pendiente es alto a muy alto potencial.

Los caminos seleccionados están entre 2 a 15% por lo que su potencial es bajo, moderado a alto potencial (Figura 5). Durante visitas de campo observamos que el área no es una cuenca en el contexto de la definición sino que comprende de un sistema de varias cuencas pequeñas que se unen para desembocar en un área limitada de la costa. Debido a que no existen humedales costeros entre la cuenca y el ambiente marino, la alta densidad de caminos no pavimentados presenta un alto potencial para aportar sedimentos directo al mar.

En esta zona se identificamos ecosistemas costeros como las praderas de yerbas marinas, arrecifes de coral y sus organismos asociados. La costa es utilizada por los residentes para actividades de disfrute y la pesca artesanal.

El área de estudio es habitada por cientos de familias y está en constante actividad de construcción de viviendas nuevas, construcción y mantenimiento de caminos no pavimentados, limpieza y desmonte de solares, construcción de terraplenes y la quema de vegetación. Existen algunos caminos principales pavimentados en el área e infraestructura que provee electricidad a las residencias.

Sin embargo, la infraestructura de agua potable es limitada ya que no llega a todas las residencias y no existe sistema de alcantarillado. Debido a esto, se utilizan pozos filtrantes para manejar los desperdicios de heces humanas.

Como parte de la metodología utilizada por las MPM en la planificación para la construcción de los caminos nuevos no pavimentados se toma se consideran varios elementos. Ejemplo de esto está la ubicación del camino. Se evalúa cuantos caminos son necesarios para servir el propósito para la cual se construyen. Se minimiza o evita el cruce de áreas por donde fluyen aguas superficiales.

Recomendamos mantener una zona de amortiguamiento (vegetativo) entre el camino y lugares por donde fluyan aguas superficiales o alejar estos caminos de las zonas ribereñas. Se evita la construcción sobre suelos inestables o que por sus características son susceptibles a erosión.

En términos de diseño los caminos no pavimentados deben construirse con el ancho y la longitud necesaria para cumplir su propósito. Caminos demasiado anchos poseen mayor superficie expuesta al proceso de erosión.

Los caminos largos en pendientes altas tienen el efecto de acumular aguas de escorrentía y canalizarlas sobre su superficie donde su movimiento y volumen aumenta a medida que corre pendiente abajo erodando el suelo a su paso.

Debemos considerar, cuando sea posible, la utilización de algún relleno, tosca o piedra o material estabilizadora para caminos altamente transitables o susceptibles a erodarse. Las pendientes de los caminos no deben exceder el 10% de inclinación o no más de 10 pies de inclinación por cada 100 pies de camino.

Estas son algunas guías para la planificación y construcción de caminos no pavimentados. En el caso de los caminos de Villa Borinquen, los mismos ya son existentes y no fueron planificados correctamente al construirse por los ocupantes.

Los caminos colindan con solares y residencias haciendo difícil encontrar áreas o espacios para desviar las escorrentías provenientes de los caminos. Estos caminos han sido constantemente perturbados con prácticas inadecuadas con la intención de mantenerlos transitables, pero que solo han agravado su deterioro y han erosionado aún más con el tiempo. Esta situación amenaza los recursos costeros del área.

Sin embargo, es posible, necesaria y urgente la aplicación de MPM en estos caminos. Con la recomendación de MPM mi objetivo será evitar la acumulación y concentración de agua sobre la superficie del camino. Aguas que se mueven sobre la superficie del camino causan la erosión del suelo. Si se logra dispersar el agua en intervalos regulares a lo largo del camino con MPM, la erosión puede controlarse.

Como parte de la metodología está la selección de MPM sencillas, fáciles de construir y de mantener. La razón de esto es para que puedan ser aplicadas por personal municipal o los propios residentes quienes al momento son los que han trabajado en los caminos. Las MPM aplicables como métodos para reducir la erosión en los caminos no pavimentados que he seleccionado en este estudio son:

Pendientes o declives (*Road Cross-sections*):

Este es un diseño utilizado comúnmente para que el agua se disperse hacia los lados del camino. Este diseño provee una leve pendiente o inclinación hacia uno de los lados del camino o dos pendientes o declives que parten desde el punto medio del camino hacia ambos lados. En este caso es necesario proveer zanjas de drenajes (*Water turnouts*) adecuados que alejen las escorrentías dispersadas hacia áreas protegidas con vegetación.

Este efecto se puede lograr con una maquina niveladora o un excavadora ambos disponibles en Vieques. La máquina niveladora es más apropiada debido a que se puede calibrar la navaja de la máquina, para crear la pendiente o declive deseado. Este diseño se recomienda en aquellos casos en el que existan áreas vegetativas que puedan recibir las escorrentías en uno o ambos lados del camino.

Zanjas de drenaje (*Water turnouts or Wing ditches*):

Las zanjas de drenaje proveen desagüe a las zanjas paralelas a los caminos que recogen las escorrentías de la superficie de estos. Esta práctica aleja las aguas de los caminos y los dispersa en las áreas de cobertura vegetativa. Estas zanjas ayudan a secar los caminos con más rapidez luego de una lluvia. El número necesario de zanjas de drenaje y el espacio entre ellas dependerá de la pendiente del camino y las guías de MPM contienen tablas con las recomendaciones adecuadas.

Tuberías de drenaje (*Cross-drain culverts*):

Las tuberías de drenaje proveen salidas de desvío de escorrentías por debajo de la superficie del camino y son más eficientes que las zanjas de desviación sobre las superficies. Estos pueden ser utilizados cuando sea necesario desviar las escorrentías de un lado del camino hacia otro donde se dispersan en un área vegetativa. Las tuberías de drenaje tienen además la capacidad de absorber la velocidad y energía del flujo del agua.

La salida del tubo debe extenderse más allá de la orilla del camino. El diámetro del tubo que se instale dependerá del área superficial que se drenará con la práctica.

Las guías de MPM proveen tablas con los diámetros recomendados basados en el área superficial de drenaje. El material del tubo puede ser de polietileno de alta densidad (HDPE) corrugado o polivinilo corrugado (PVC).

En la entrada y salida del tubo por donde se drenarán las escorrentías se recomienda la instalación de algún material que reciba y rompa la fuerza y velocidad del agua. Esto se puede lograr con piedra picada (Rip Rap). En Vieques, el Municipio es propietario de una cantera de donde se puede extraer la piedra.

Piedra picada o gravilla (*Rip Rap*):

Piedra picada y la gravilla viene en tamaños variados y el tamaño a utilizarse dependerá de su aplicación. Su función es servir como barrera y absorber la energía de la escorrentía disminuyendo su velocidad antes de dispersarse en un área vegetativa o antes de llegar a una práctica instalada. También puede ser utilizado donde los caminos no pavimentados se unen a los pavimentados. Aquí la piedra evitará que la escorrentía socave el pavimento y lo desprenda de la superficie.

Drenaje abierto (*Open-top culvert*):

Esta práctica es útil para caminos cortos como las entradas a los predios de las residencias o caminos caseros. Es sencillo de construir, instalar y mantener. La misma consiste de una estructura en madera con separadores que se coloca en el suelo y al nivel de este para que reciba y desvíe las escorrentías. Se construye con madera tratada utilizando una tabla de 2" x 8" como base y dos tablas 2"x 6" que se adhieren a los lados con clavos. Los separadores se colocan en varios puntos del medio de la estructura para evitar que se colapse.

La estructura de madera se coloca en el suelo haciendo una zanja la cual se hace tomando en consideración hacia donde se desea desviar las escorrentías. Es necesario darle mantenimiento con regularidad para evitar que se tape con sedimentos. En los casos que se desee se puede colocar una rejilla galvanizada sobre la estructura.

Montículos o barras de agua (*Water Bars*):

Esta práctica es utilizada comúnmente para caminos que han sido cerrados pero que es necesario que drenen sus escorrentías para evitar que se conviertan en fuentes de

sedimentos. Sin embargo, ha sido utilizada en caminos activos con pendientes elevados donde otras prácticas no han sido exitosas.

Las Barras son montículos de tierra que se construyen a diferentes intervalos sobre el camino que desvían la escorrentía hacia uno de los dos lados. La cantidad y distancia entre montículos que se necesitan construir está determinado por la pendiente del camino. A mayor pendiente mayor número de estos serán necesarios.

Las guías de MPM proveen la información en tablas relacionados a la pendiente del camino y la distancia entre los montículos. Los mismos deben ser lo suficientemente bajos para permitir el flujo de vehículos. Los montículos o barras pueden construirse con tierra del propio camino o con material que se añada. Esta práctica se puede lograr con equipo pesado como una máquina excavadora (*digger*) o una pala mecánica (*Bulldozer*). El propósito es segmentar la distancia o el largo que puede recorrer la escorrentía evitando que adquiera velocidad y erosione el suelo.

Badén de drenaje (*Drainage dips*):

Los badenes proveen tanto drenaje cruzado como drenaje del agua que se acumula sobre la superficie del camino. Pueden ser utilizados en lugar de la tubería de drenaje cuando así lo permitan las condiciones. Deben ser lo suficientemente profundos para proveer drenaje adecuado pero lo suficientemente largos para permitir el tránsito. El espacio que debe haber entre los badenes será determinado por el largo del camino y su pendiente. Mientras más largo o más inclinado el camino más badenes se requieren.

Las guías de MPM proveen la información sobre cuantas y a qué distancia deben construirse según la pendiente del camino. Los badenes largos son más adecuados que badenes cortos en caminos de mucho tránsito ya que no interrumpen el flujo del vehicular.

Esta práctica se puede lograr con una maquina niveladora o *Grader*. Es necesario instalar la piedra picada a la salida del badén para disminuir la velocidad de la escorrentía antes de que se disperse sobre la vegetación.

El manejo adecuado de los caminos no pavimentados resultará en la conservación de los recursos costeros existentes evitando que el proceso de erosión sea una fuente de contaminación del ambiente marino. Cumpliendo con los objetivos, la meta de este estudio es recomendar Mejores Prácticas de Manejo, económicas y de bajo mantenimiento para los caminos o segmentos de caminos que presentan mayor riesgo al ambiente marino.

Para cada camino recomiendo la combinación de varios MPM diseñadas para minimizar el problema de erosión existente (Tabla 4). A continuación la descripción física y las MPM que recomendamos para cada camino o segmento de camino:

Segmento de Camino 1:

Este segmento se encuentra aproximadamente 152m de la costa y es la entrada hacia los segmentos de caminos 2, 3, 4, 5, y 6. En visitas de campo observamos en este segmento de camino dos viviendas a la derecha del camino, de norte a sur, y una zona de vegetación espesa a la izquierda. Sobre el camino observamos cunetas y cuentones causados por el proceso de erosión y la acumulación de suelo erodado sobre la carretera estatal número 200 con la cual se conecta al sur.

Observamos evidencia de movimiento de suelo removido por la erosión hacia la costa y actividad de remoción de suelo sobre la carretera estatal 200 por maquinaria debido a la acumulación de la misma por lluvias recientes. Este suelo proviene de este camino.

El nivel del camino es más bajo que los predios de terrenos que colindan con ella indicando pérdida sustancial de suelo y la posible mecanización inadecuada con la intención de repararla (Figura 6). Las MPM que recomendamos para este camino son:

Pendientes o declives (*Road cross-sections*).

Zanjas de drenaje (*Water turnouts or wing ditches*).

Piedra picada (*Rip rap*) en áreas de drenaje.

Segmento de Camino 2:

Este segmento no presenta daños mayores causados por erosión y contiene algo de cobertura vegetativo que le ayuda a retener el suelo y lo estabiliza. Esto se debe a que su porcentaje de inclinación es menor minimizando la pérdida de suelo.

Sin embargo, es necesario aplicar MPM ya que es parte o segmento de un camino más largo y recibe el mismo tránsito y uso. En ambos lados del segmento existen residencias con poca cobertura vegetativa que evidencian aportar escorrentías que contribuyen al deterioro por erosión del segmento de camino (Figura 7).

Para proteger este camino de las escorrentías que provienen de los predios de los residentes recomendamos establecer en las entradas las siguientes MPM:

Drenaje abierto (*Open top culvert*).

Piedra picada (*Rip rap*) en áreas de drenaje.

Segmento de Camino 3:

Este segmento tiene 12 parcelas a sus lados, tres de ella con residencias habitadas. Los demás predios han sido desmontados total o parcialmente.

En su medio se conecta con un camino pavimentado pendiente abajo. La mitad alta del segmento erosiona y drena sus aguas hacia y sobre el camino pavimentado. El camino pavimentado presenta daños causados por la esorrentía que recibe.

El segmento seleccionado presenta cuentones a lo largo de su trayecto, cruzando su superficie diagonalmente en diferentes lugares haciendo difícil transitar sobre ella. El largo de este segmento es uno de los factores que contribuye más a su deterioro y erosión. Se hace necesario aplicar MPM diseñadas para interrumpir y desviar las esorrentías del camino a la vez que disminuye el volumen y la fuerza de estas (Figura 8).

Para este camino recomendamos la aplicación de las siguientes MPM:

Pendientes o declives (*Road cross-sections*).

Zanjas de drenaje (*Water turnouts or wing ditches*).

Piedra picada (*Rip rap*) en áreas de drenaje.

Baden de drenaje (*Drainage dips*).

Segmento de Camino 4:

Este segmento de camino presenta la acumulación de suelo erodado proveniente del segmento que le sigue pendiente arriba el cual tiene una inclinación mucho mayor y un problema de erosión severa. Aunque este segmento tiene a sus lados terrenos con abundante vegetación, no existe drenaje de las esorrentías hacia ella por lo que el suelo erodado se acumula sobre su superficie haciéndola intransitable cuando llueve.

Es evidente que el suelo erodado se ha estado moviendo sobre la superficie de este segmento de camino hacia los segmentos más cercanos a la costa. Se deben aplicar MPM en este camino para liberar su superficie de la acumulación de agua y sedimentos que

pueden llegar eventualmente a la costa (Figura 9). Para este camino recomendamos las siguientes MPM:

Pendientes o declives (*Road cross-sections*).

Zanjas de drenaje (*Water turnouts or wing ditches*).

Piedra picada (*Rip rap*) en áreas de drenaje.

Segmento de Camino 5:

Este segmento es el segundo de mayor pérdida de suelo de los diez seleccionados. Esto se debe en gran parte a la combinación de su largo y lo elevado de su pendiente, además de las características del suelo. Ante el problema, los residentes han tratado de mantenerla transitable con una excavadora liviana.

La falta de conocimiento de MPM de parte de los residentes, en sus intentos por mantener el camino, solo ha agravado el problema. Este camino no es transitable cuando ocurren lluvias fuertes o por periodos extendidas.

El camino se encuentra en un deterioro extremo evidenciando un problema de erosión severo. Además observamos que los suelos removidos, por la maquina y por el proceso de erosión, han tenido acceso a los patios de las residencias causando problemas de acceso e inundación.

Este camino es ejemplo de uno mal planificado en el cual recomendaría su cierre y buscar una ruta alterna. Sin embargo, no existe una ruta alterna para construir un camino nuevo debido a que el área está rodeada de parcelas con dueños establecidos.

Estos podrían dialogar y llegar a algún acuerdo que permita el uso de sus terrenos para la construcción de un nuevo camino. No obstante, es posible aplicar MPM para

desviar las escorrentías hacia un lado del camino de vegetación abundante pero las mismas requerirán un mantenimiento frecuente para que puedan cumplir su función (Figura 10).

Para este camino recomendamos las siguientes MPM:

Zanjas de drenaje (*Water turnouts or wing ditches*).

Piedra picada (*Rip rap*) en áreas de drenaje.

Montículos o barras de agua (*Water bars*).

Segmento de Camino 6:

Este es el segmento presenta un problema de erosión creciente. Esto no está directamente relacionado al largo o la pendiente, sino a su ubicación sobre el camino 5. El hecho de que los suelos del camino 5 se pierden por erosión severa, causa un efecto dominó del suelo que esta sobre éste desestabilizando el área completa.

El movimiento sobre la superficie del camino por vehículos pesados, debido a la actividad de construcción, contribuye al efecto desestabilizador del suelo y a aumenta la erosión. Como agravante, el mantenimiento inadecuado del camino y la ausencia de MPM permite la acumulación de agua sobre la superficie del mismo el cual eventualmente drena sobre el camino 5 (Figura 11).

De no atenderse la situación de este camino el mismo presentara problemas de erosión severa con el tiempo haciéndola inaccesible. Esto causará que los residentes queden incomunicados y representará una amenaza a los recursos costeros.

Recomendamos las siguientes MPM para este camino:

Pendientes o declives (*Road cross-sections*).

Zanjas de drenaje (*Water turnouts or wing ditches*).

Piedra picada (*Rip rap*) en áreas de drenaje.

Camino 7:

Este Camino da acceso a la playa y sus escorrentías y suelos erodados drenan directamente al mar. Esta playa es llamada Playa Voltios por ser el lugar de donde inicia la salida del cable que provee electricidad a la isla de Culebra. La misma es utilizada con frecuencia por los residentes de la zona para el disfrute de actividades al aire libre y la pesca artesanal. Aunque su promedio estimado de pérdida de suelo no es alto, es evidente que la totalidad del suelo erodado llega al ambiente marino y se sedimenta sobre su lecho.

Sobre el camino se evidencia un cuentón principal que tiene una profundidad de dos .60m y es aproximadamente 21m de largo que conduce las escorrentías al mar.

El Camino no presenta evidencia de mantenimiento alguno o prácticas que eviten la erosión. Debido a su proximidad al mar resulta urgente la aplicación de MPM (Figura 12).

Para este camino recomendamos la siguiente MPM:

Piedra picada (*Rip rap*) en toda el área.

Segmento de Camino 8:

Este segmento de Camino es largo con curvas suaves que suben la pendiente. A lo largo del mismo existe una residencia completada y dos bajo construcción ubicadas a la izquierda del camino en dirección norte a sur.

En las dos de las residencias bajo construcción se ha desmontado las parcelas dejándolas desprovistas de toda vegetación y desestabilizando el suelo. A la derecha del segmento de camino, en la misma dirección, existe una cuenca con densa vegetación. El segmento de Camino recibe todas las escorrentías de los predios desmontadas que quedan en un nivel más alto.

Las escorrentías drenan hacia la costa sobre el camino superficie le sirve para moverse pendiente abajo cargando sedimentos y causando más erosión. Es evidente que al mecanizar el camino para mantenerla transitable se ha creado una barrera de suelo entre el camino y la cuenca impidiendo que drenen las aguas de las escorrentías hacia ella. Como consecuencia, sobre el camino se han formado cunetas y cuentones profundos causados por el proceso de erosión que hace difícil transitarla. Al igual que el segmento de camino 1 descrito anteriormente, este segmento de camino también drena sus escorrentías y suelos erodados sobre la carretera estatal 200 la cual a su vez drena en la costa.

En este caso es necesario aplicar MPM que desvíen las escorrentías hacia la cuenca y recomendar prácticas de conservación a los residentes que construyen para estabilizar los suelos (Figura 13). Para este camino recomendamos las siguientes MPM:

Pendientes o declives (*Road cross-sections*).

Zanjas de drenaje (*Water turnouts or wing ditches*).

Piedra picada (*Rip rap*) en áreas de drenaje.

Baden de drenaje (*Drainage dips*).

Segmento de Camino 9:

Este segmento es perpendicular al segmento 8 con una pendiente mucho mayor. El Camino da acceso a seis parcelas o predios, cuatro de ellas con residencias. La pendiente y la ausencia de planificación de este camino han resultado en un problema de erosión severa sobre la superficie de la misma. De aquí su alto promedio estimado de pérdida de suelo.

Este es otro camino al que recomendaríamos su cierre y la búsqueda de una ruta alterna, pero al igual que el camino 5 no lo permite la situación existente de residencias

rodeando este camino. El Camino es recto y el proceso de erosión severo ha causado que se formen varios cuentones profundos que dificultan el tránsito.

Los cuntones atraviesan el camino en varios puntos drenando sus escorrentías y suelos erodados sobre los segmentos de caminos 8 y el 10. Este Camino resulta intransitable en periodos de lluvia prolongados o lluvia copiosa. Durante estos periodos de lluvia la cantidad de suelos erodados de este camino pueden alcanzar el ambiente marino (Figura 14). Para este Camino recomiendo la aplicación de las siguientes MPM:

Super elevación (*Super-elevating*) o pendiente del camino

Zanjas laterales (*Roadside ditches*)

Piedra picada (*Rip rap*) en áreas de drenaje.

Montículos o barras de agua (*Water bars*).

Tubería de drenaje (*Cross-drain culverts*).

Segmento de Camino 10:

Al inicio de este estudio en el 2009, este segmento de Camino no era una vía de mucho uso o tránsito ya que no existían residencias a sus lados. Durante las visitas de campo iniciales a este camino no encontramos evidencia de que fuera utilizado frecuentemente debido a la vegetación que crecía en ella.

De norte a sur, a la derecha y paralela de este camino corre una cuenca con densa vegetación. A la izquierda existen cuatro parcelas o predios donde solo en una se construía una residencia. Esta situación cambio a finales de 2010 inicio de 2011, cuando comenzó la actividad de desmonte y perturbación de suelo para la construcción de nuevas residencias.

Este Camino fue seleccionado debido a su ubicación con relación a la costa y porque se calculó su promedio estimado de pérdida de suelo sin los factores cobertura

vegetativa y arrojó resultados de pérdida de suelo altos comparado con todos los demás caminos (Figura 15). Una vez este camino entró en uso por los residentes comenzó a confrontar problemas de erosión severa y presenta alta posibilidad de que los suelos erodados puedan contaminar el ambiente marino de la costa.

Para este camino urge la aplicación de MPM que desvíen sus aguas de escorrentía hacia la cuenca con densa vegetación. Recomendamos las siguientes MPM:

Pendientes o declives (*Road cross-sections*).

Zanjas de drenaje (*Water turnouts or wing ditches*).

Piedra picada (*Rip rap*) en áreas de drenaje.

Es importante que las MPM recomendadas para cada camino sean aplicadas correctamente siguiendo las guías aquí mencionadas y sus recomendaciones. Si las MPM no son aplicadas correctamente estas pueden contribuir a la erosión.

Todas las MPM requieren de mantenimiento y esto dependerá del uso y a la pérdida de suelo por causa de las lluvias al que este sujeto el camino o segmento. Es necesario observar si las prácticas están funcionando adecuadamente y realizar aquellos ajustes que sean necesarios.

CAPÍTULO V

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

La sedimentación de los suelos erodados es uno de los mayores contaminantes de las aguas superficiales, causando daños a los ecosistemas acuáticos y marinos y los organismos asociados a estos. Estos daños tienen consecuencias negativas en los abastos de alimentos, la generación de ingresos, la estética y la vida útil de los recursos que afectan. Vieques genera ingresos de sus costas provenientes del turismo, la gente que visita y disfruta de sus playas, la actividad de buceo y buceo con tubo de respiración (*snorkeling*), la pesca recreativa y comercial entre otras actividades.

En Vieques los caminos no pavimentados representan una fuente de contaminación para las costas. Aunque este estudio se limita a una cuenca en el barrio Villa Borinquen al noreste de la Isla, la proliferación de caminos no pavimentados aumenta con la ocupación de terrenos en el oeste por la comunidad Verde Vieques.

Durante el periodo de este estudio tuvimos la oportunidad de visitar esta comunidad en el cual se construyen caminos para accesar nuevos predios de terreno ocupados. Observamos que los caminos son construidos de manera inapropiada y como el proceso de erosión ya ha deteriorado muchos de ellos. La situación económica del Municipio no le permite tomar acciones, para pavimentar los caminos y mientras estos siguen en aumento. Cuando el deterioro hace intransitable un camino los residentes construyen otro.

Ante esta situación, se hace necesaria la educación de la comunidad sobre los efectos que tiene la construcción inadecuada y no planificada de caminos no pavimentados sobre los recursos marinos. Siendo Vieques una isla pequeña los suelos erodados de estos

caminos no tardan en llegar al ambiente marino. La Figura 16 muestra suelos erodados que llegan al mar luego de lluvias intensas. Como se observa, los sedimentos provienen de las zonas urbanizadas.

Los caminos son necesarios y útiles. Sin embargo pueden resultar ser una fuente de contaminación para el ambiente marino. Mejores Prácticas de Manejo pueden y deben ser aplicadas a la brevedad posible en los caminos no pavimentados en Vieques. En los caminos que se apliquen MPM, no solo resultarán transitables, sino que, minimizarán los efectos que tienen los suelos erodados en las costas de la Isla.

Es importante reconocer que la aplicación principal de las Mejores Prácticas de Manejo es la planificación antes de construir los caminos. La buena planificación de los caminos y su ubicación correcta permitirá las aplicaciones de MPM de forma adecuada y fácil para su mantenimiento y manejo

Una limitación de este estudio fué recomendar prácticas en caminos construidos inadecuadamente y sin la planificación necesaria. Estos caminos no cumplen con las guías establecidas por las MPM para diseño y ubicación. En principio, las MPM son mejor aplicadas en caminos no pavimentados que han sido planificadas correctamente y luego construidos integrando las prácticas. Por lo tanto, es posible que algunas de las prácticas recomendadas sean menos efectivas para aquellos caminos seleccionados que se construyeron con pendientes de 13 y 15% y en línea recta.

En estos casos es necesario observar, una vez instaladas, como las prácticas cumplen con su propósito y hacer ajustes según sea necesario siguiendo las guías de MPM. Las MPM son mejor utilizadas como preventivas y no como un remedio aunque en ambos casos se ha demostrado que estas siempre son efectivas en algún grado.

Otra limitación es que las MPM recomendados en este estudio están basadas en las condiciones actuales de los caminos no pavimentados seleccionados y deben ser aplicados en un periodo de tiempo razonable. Las condiciones de los caminos pueden variar con el tiempo y deteriorarse aún más. Esto significa que las MPM tendrían que reconsiderarse y nuevamente evaluar su aplicación ante las nuevas condiciones que presenten los caminos.

Todos los MPM aplicables y recomendados en este estudio requieren mantenimiento. Fallar en proveer mantenimiento adecuado a las prácticas resultará en la ineficiencia de las mismas y el deterioro de los caminos que comenzarán a erodarse y aportar suelos erodados al ambiente marino.

El estudio hecho por Ramos-Scharron en el 2009, alerta sobre la aportación de sedimentos que los caminos en la cuenca de Villa Borinquen tiene en el ambiente marino y resalta la necesidad de aplicar MPM a la brevedad posible. En este estudio hemos identificado y recomendado las MPM aplicables para los caminos que más urgencia tienen. Este estudio y las guías utilizadas se harán disponibles a las autoridades municipales de Vieques para su acción e implementación.

En cuanto a la comunidad, recomendamos preparar una guía técnica ilustrada con las MPM más comunes de manera que pueda ser utilizada para planificar la construcción de nuevos caminos y el manejo de los caminos existentes. Esta guía puede ser preparado por el NRCS, el Departamento de Recursos Naturales, la Junta de Calidad Ambiental y el Servicio de Extensión Agrícola en un esfuerzo conjunto. Otra recomendación para aplicación de MPM y su mantenimiento es que la comunidad forme una Asociación de Caminos y recauden los fondos anualmente de los residentes.

Los recursos marinos se enfrentan a nuevos retos y condiciones climáticas que producirán cambios en los sistemas costeros. La manera en que los ecosistemas enfrenten estos cambios bien puede significar su destrucción o su supervivencia.

Los contaminantes provocados por disturbios humanos debilitan estos ecosistemas y sus organismos asociados. Prevenir que las actividades humanas afecten estos recursos resultará en su desarrollo saludable y vigoroso aumentando su productividad y capacidad de absorber los cambios climáticos. El manejo de los caminos no pavimentados, a través de MPM, contribuirá a minimizar la aportación e impacto de uno de los contaminantes más peligrosos para el ambiente marino; los sedimentos.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, R., Morelock, J. & Oliver R. A. (1989). *Modification of coral reef zonation by terrigenous sediment stress*; 96, 92-100. Recuperado de <http://geology.uprm.edu/Morelock/pdfdoc/acevedo.pdf>.
- Ali, M. F. & Said, S. (s. f.). *The effect of slope steepness on soil erosion*, 2, 1-5. Recuperado de <http://www.docstoc.com/doc/21078907/THE-EFFECT-OF-SLOPE-STEEPNESS-ON-SOIL-EROSION>.
- Aller, R. C. & Dodge, R. E. (1974). Animal-sediment relations in a tropical lagoon: Discovery Bay, Jamaica. *Journal of Marine Research*, 32:209-232.
- Ayala, C. & Carro, V. (2001). *Expropriation and displacement of civilians in Vieques, 1940-1950*. p39. Recuperado de <http://www.sscnet.ucla.edu/soc/faculty/ayala/vieques/ayalacarro.pdf>.
- Cambers, G. (1998). Coping with beach erosion; *Coastal Management Sourcebooks* 1:63-65, UNESCO Publishing.
- Carruba, L., Otero, E. & Ortíz, A. (2006). *Las praderas de yerbas marinas en la reserva natural de los arrecifes de la cordillera de Fajardo*. Recuperado de <http://drna.gobiernos.pr/oficinas/arn/recursosvivientes/costasreservasrefugio/coral/publicaciones/panfleto%20yerbas%20cordillera%20final.pdf>.
- CH2MHILL. (2008). *Site management plan fiscal year 2008-2009: former naval facilities, Vieques, Puerto Rico*. Recuperado de http://www.gobiernopr/NR/rdonlyres/59A535BB-SEA8-4C59-864B-F04FE5157231/O/DraftFinal_SMP_2009_Rev.1pdf.
- Chiras, D. D. (2001a). Creating a sustainable system of agriculture to feed the worlds people. *Environmental Science: Creating a Sustainable Future*. (6a. ed.) (pp. 188-191). Sudbury, MA, EE. UU. Jones and Bartlett Publishers, Inc.
- Chiras, D. D. (2001b). Principles of ecology: biomes and aquatic life zones. *Environmental Science: Creating a Sustainable Future*. (6a. ed.) (pp 103-105). Sudbury, MA, EE. UU. Jones and Bartlett Publishers, Inc.

- Chiras, D. D. (2001c). Water pollution: sustainably managing a renewable resource. *Environmental Science: Creating a Sustainable Future*. (6a. ed.) (p. 511). Sudbury, MA, EE. UU. Jones and Bartlett Publishers, Inc.
- Choctawhatchee, Pea and Yellow Rivers Watershed Management Authority, (2000) *Recommended practices manual, a guideline for maintenance and service of unpaved roads*. Recuperado de <http://water.epa.gov/polwaste/nps/unpavedroads.cfm>.
- Cooperative Extension Service. (s.f.). *Best management practices for forest road construction and harvesting operations in Oklahoma*. Recuperado de <http://www.forestry.ok.gov/webdites/forestry/images/documents/waterquality BMP %booklet.pdf>.
- Dallmeyer, D. G., Porter, J. W. & Smith, G. J. (1982). Effects of particulate peat on behavior and physiology of Jamaican reef-building coral *Montastrea annularis*. *Marine Biology*, 68:229-233.
- Demers, P. (1996). *The "edge effect" on submerged coral reef sedimentation as a controlling factor for coral survival, growth and recruitment* (p. 57-58). Disertación de tesis de maestría no publicada. Department of Oceanography Science, University of Hawaii, Manoa.
- Departamento de Agricultura, [DA]. (1997). *Ley 122 de 19 de septiembre de 1997*. Recuperado de <http://www.oslpr.org/download/es/1997/122s0046.pdf>.
- Departamento de Defensa. (2001). En *Refugio nacional de vida silvestre de Vieques: plan abarcador de conservación y declaración de impacto ambiental*. (p. 39). Atlanta, Ga. US Servicio de Pesca y Vida Silvestre, Publicación Oficial.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales [DNRA]. (s. f.). *Puerto Rico DRNA: Navega el ambiente*. Recuperado de: <http://www.dnra.gobierno.pr/servicios>.
- Departamento de Recursos Naturales [DNRA]. (1999). *La nueva ley de vida silvestre de Puerto Rico, ley 241 de 15 de agosto de 1999*. Recuperado de: <http://www.oslpr.org/download/es/1999/241c1502.pdf>.

- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1976). *Ley de aguas de Puerto Rico: ley 136 del 3 de junio de 1976*. Recuperado de: <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/arn/agua/negociadoagua/?searchtermLey=136>
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2004). *Reglamento #6916 para regir la extracción, excavación, remoción y dragado de los componentes de la corteza terrestre*. Recuperado de: http://www.drna.gobierno.pdf/biblioteca/reglamentos_folder/6916.pdf/view?searchterm=reglamento+6916.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1992). *Reglamento #4860 para el aprovechamiento, vigilancia, conservación y administración de las aguas territoriales, los terrenos sumergidos bajo estas y la zona marítima terrestre*. Recuperad de: http://drna.gobierno.pr/biblioteca/reglamentos_folder/4860.pdf/view?searchterm=reglamento+4860.
- Díaz, E. L. (2005). *Integrated watershed management: land based sources of pollution*. Recuperado de: http://coral/reef.gov/meeting17/Lbsp_puerto%20rico.pdf.
- Dodge, R. E. & Vaisnys, J. R. (1977). Coral populations and growth patterns: responses to sedimentation and turbidity associated with dredging. *Journal of Marine Resources*, 35:715-730.
- Environmental Protection Agency [EPA]. (2010). *Managing nonpoint source pollution from forestry*. Recuperado de <http://water.epa.gov/polwaste/nps/outreach/point8.cfm>.
- Frank, I. & Brownstone, D. (1992). *The green encyclopedia: An A to Z sourcebook of environmental concerns and solutions* (1a. ed.). New York, N.Y.: Macmillan, Inc.
- Hemminga, M. & C. Duarte (2000). *Seagrass ecology; an introduction*. (p.298). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Hernández-Delgado, E. A. (2006). *Causas y consecuencias de las escorrentías turbias y la sedimentación en los arrecifes de coral en Puerto Rico*. Recuperado de: <http://drna.gobierno.pr/oficinas/arn/recursosvivos/costasreservasrefugios/coral/presentaciones-sobre-arrecifes-de-coral/Hernandez%20sedimentación%20tallerDRNA%20Aug%2021%202006.pdf>.

Institute of Water Research, Michigan State University, (2002). *RUSLE on line soil erosion assessment tool*. Recuperado de <http://www.iwr.iwr.msu.edu/rusle/>.

Junta de Calidad Ambiental. (s. f.). *A que nos dedicamos*. Recuperado de <http://www.gobierno.pr/JCA/QueEsLaJCA/aquenosdedicamos/>.

Junta de Calidad Ambiental. (s. f.). *Ley sobre política pública ambiental: Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004*, de Recuperado de: http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres/E91657AT-95324694-9BD2-857A989163C3/O/Ley41604_LeySobrePoliticaPublicaAmbiental.pdf .

Junta de Planificación de Puerto Rico. (s. f.). *Conócenos*. Recuperado de 2009 de: <http://www.jp.gobierno.pr/>.

Junta de Planificación de Puerto Rico. (2004). *Ley para el plan de uso de terrenos del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, Ley Núm. 550 de 3 de octubre de 2004*, Recuperado de http://www.jp.gobierno.pr/portal_jp/PUTPR/Documentos/tabid/195/ItemId/133/Default.aspx.

Junta de Calidad Ambiental. (2004). *Ley sobre Política Pública Ambiental: Ley número 416 de 22 de septiembre de 2004*. Recuperado de <http://www.gobierno.pr/JCA/LeyesReglamentos/Leyes/>.

Junta de Calidad Ambiental. (1998). *Reglamento #68 para el control de la erosión y prevención de la sedimentación del 23 de marzo de 1998*. Recuperado de <http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres/AD5BCC30-4C18-4E9E-A8C8-FF04fEBEDA68/o/ControlErosionSedimentacion.pdf> .

Maine Department of Environmental Protection. (s.f.). *Watershed planning and management, BMP guides* .Bureau of Land and Water Quality. Recuperado de <http://www.main.gov/dep/blwq/docwatershed/materials.htm>

Massachusetts Department of Environmental Protection, (2001). *The Massachusetts unpavedroads BMP manual, a guidebook on how to improve water quality while addressing common problems*. project 98-06/319. Worcester, Ma.: Berkshire Regional Planning Commission.

Michigan Sea Grant College Program. (1988). *Vegetation and its role in reducing great lakes shoreline erosion; a guide for property owners* (p.10). (MICHU-H-88-001 C2). Michigan, Michigan Department of Natural Resources Printing Office.

National Cooperative Soil Survey. (1969). *Soil survey of Humacao area of eastern Puerto Rico*. (p. 12, 17, 25). Washington, DC: United States Department of Agriculture, a Soil Conservation Service publication.

National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA]. (2007). *NOAA coral reef ecosystem research plan*. Recuperado de:
http://coris.noaa.gov/activities/coral_research_plan/pdfs/coral_researchplan.pdf

Natural Resources and Conservation Service & Puerto Rico Environmental Quality Board. (2005). *Puerto Rico erosion and sediment control handbook for developing areas*. San Juan, Puerto Rico. Publicación de la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico.

Massachusetts Department of Environmental Protection [MDEP] & United States Environmental Protection Agency [USEPA]. (2001). *Unpaved roads BMP manual; a guidebook on how to improve water quality while addressing common problems*. Recuperado de <http://www.mass.gov/dep/water/resources/dirtroad.pdf>.

O'Neill, Charles R., Jr. (1985). *A guide to coastal erosion processes* (p.5). Information Bulletin199, New York State; a Cornell Cooperative Extension Publication.

Pastorok, R. A. & Bilyard, G. R. (1985). Effects of sewage pollution on coral-reef communities. *Marine Ecology Progress Series*, 21:175-189.

Ramos-Scharron, C. E. (2004). *Plot and hill-slope scale sediment production from natural and disturbed surfaces in dry tropical areas of the eastern Caribbean*. Recuperado de: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2006AGUFM.B23B1085R>.

Ramos-Scharron, C. E. & Mac Donald, L. H. (2007). Development and application of a GIS-based sediment budget model. *Journal of Environmental Management*, Vol. 84, 157-172.

- Ramos-Scharron, C. E., Lindsay, K. & Bacle J. (2007). *Fish bay watershed assessment: recommendations for a road erosion control program*, 4, 1-80. Washington, DC. National Fish and Wild Life Foundation Publications.
- Ramos-Scharron, C. E. (2009). *The effects of land development on sediment loading rates into the coastal waters of the island of Culebra and Vieques, Puerto Rico*. 19, 1-94. San Juan, Puerto Rico. Puerto Rico Department of Natural Resources, Coastal Management Program Publications.
- Renard, K. G.; Foster, G. R.; Weesies, G. A.; McCool, D. K. & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water; a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook Number 703. Washington D. C. US Government Printing Office.
- Reidel, M. S.; Swift, Jr. L.W.; Vose, J. M.; Clinton, B. D. (2007). *Forest road erosion research at the Coweeta Hydrologic Laboratory*. Coweeta Hydrologic Laboratory, Otto, North Carolina, a USDA Forest Service publication.
- Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, Departamento de Interior. (2007). *Refugio nacional de vida silvestre de Vieques, plan abarcador de conservación y declaración de impacto ambiental*. Atlanta, Georgia. Publicación oficial.
- Smith, R. L. & Smith, T. M. (2001). *Soils. Ecology and Field Biology* (6a. ed.) (p.76). New York, NY: Benjamin Cummings.
- The Caribbean Fishery Management Council. (1996). *Fishery management plan, regulatory impact review and final environmental impact statement for the Queen Conch resources of the Puerto Rico and the U.S. Virgen Islands*. Recuperado de <http://www.caribbeanfmc.com/SCANNED%20FMPS/qcpdfs/qconch%20plan.htm>.
- Turton, D. J., Smolen, M. D. and Stebler, E. (2009). Effectiveness of BMPS in reducing sediment from unpaved roads in the Stillwater Creek, Oklahoma Watershed. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45: 1343–1351. doi: 10.1111/j.1752-1688.2009.00367.x.

United States Congress [USC]. (2002). *Federal water pollution control act (33 U.S.C. sec. 1251-1387)*. Recuperado de <http://epw.senate.gov/water.pdf>. United States Department of Agriculture, Forest Service [USDA/FS]. (1990). *Forest * a * syst; tools to protect, enhance and manage privet woodlands*. Recuperado de: <http://www.forestasyst.org/>.

United States Department of Agriculture, National Resources Conservation Service [USDA/NRCS], (1995). *Revised universal soil loss equation (RUSLE), Caribbean Area*. Field Office Technical Guide, section 1, Washington, DC: Author.

United States Department of Agriculture; Science and Education Administration [USDA/SEA]. (1978). *Predicting Rainfall Erosions Losses: Guide to Conservation Planning*, 2, 1-58 (No. AH537/12/78). Washington, DC: Author.

United States Department Agriculture [USDA]. (1947). *Law #211, on march 26, 1946*. Recuperado de: http://www.usda.gov/wps/portal/!ut/p/_S.7_O_A/7_0_10B?navid=SEARCH&q?Law+211%2C+1946&site=usda&Go_button.x=87&Go_button.y=8.

212 Urbanismo. (1991). *Ley de Municipios Autónomos de Puerto Rico: Capítulo XIII sobre ordenación territorial; Ley Número 81 de 30 de agosto de 1991*, Recuperado de: <http://www.gobierno.pr/212/Referencias/Legislación/leyes/Ley81.htm>.

US Census Bureau. (2000). *US Census 2000*. Recuperado de: <http://factfinder.census.gov>.

Waddell, J.E. & Clarke, A. M. (eds.). (2008). *The state of coral reef ecosystem of the United States and Pacific Freely Associated States: 2008*. NOAA Thechnical Memorandum NOS NCCOS 73. (p.131-152).

Welsh, D., Ryder, R. & Post, T. (2006). *Best management practices (BMP) monitoring manual field guide: implementation and effectiveness for protection of water resources*. USDA Forest Service, Newtown Square, PN.

TABLAS

Tabla 1
Información geográfica de los caminos no pavimentados seleccionados en la cuenca de Villa Borinquen.

Número de Camino	Posición SIG		% Pendiente	Ancho (m)	Largo (m)
	Principio Lat Lon	Final Lat Lon			
1	18.15775 -65.42675	18.1564 -65.4610	6	3.6	162
2	18.15610 -65.42593	18.15640 -65.42612	5	2.9	39
3	18.15470 -65.42413	18.15610 -65.42593	8	3.0	254
4	18.15390 -65.42388	18.15470 -65.42413	2	2.5	93
5	18.15303 -65.42300	18.15390 -65.42388	12	3.2	144
6	18.15301 -65.42298	18.15323 -65.42286	8	2.7	30
7	18.15831 -65.42241	18.15869 -65.42242	6	3.5	43
8	18.15745 -65.42181	18.15654 -65.42269	6	3.2	150
9	18.15654 -65.4269	18.15618 -65.4221	13	3.2	84
10	18.15636 -65.42274	18.1532 -65.42259	15	2.4	94

Nota. SIG es el Sistema de Información Geográfico. Lat = latitud, Lon = longitud del camino seleccionado. m = metros.

Tabla 2

Nombre y serie de suelos y áreas las ocupadas por los caminos seleccionados

Caminos o Segmentos	Nombre del Suelo	Serie del Suelo	Área m²	Área ac
1	Vieques	Descalabrado	583.2	0.1441
2	Vieques	Descalabrado	113.1	0.0279
3	Vieques	Descalabrado	762.0	0.1882
4	Vieques	Descalabrado	232.5	0.0574
5	Vieques	Descalabrado	460.8	0.1138
6	Vieques	Descalabrado	81.00	0.0200
7	Vieques	Descalabrado	150.5	0.0371
8	Vieques	Descalabrado	480.0	0.1186
9	Vieques	Descalabrado	268.8	0.0664
10	Vieques	Descalabrado	225.6	0.0557

Nota. m² = metros cuadrados, ac = acres.

Tabla 3
Factores y resultados de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisado (RUSLE)
para los caminos seleccionados. (R) (K) (LS) (C) (P)=A

Número de Camino	Factor (R)	Factor (K)	Factor (LS)	Factor (C)	Factor (P)	RUSLE(A) ton/ac/año
1	87.3	0.24	1.043481	1	1	21.86301
2	87.3	0.24	0.541308	1	1	11.34149
3	87.3	0.24	1.764915	1	1	36.97850
4	87.3	0.24	0.280636	1	1	5.879903
5	87.3	0.24	2.726776	1	1	57.13142
6	87.3	0.24	0.929843	1	1	19.48209
7	87.3	0.21	0.700923	1	1	12.85003
8	87.3	0.24	1.019665	1	1	21.36402
9	87.3	0.24	2.631802	1	1	55.14152
10	87.3	0.24	3.428418	1	1	71.83223

Nota. R es el factor de erosividad causado por la lluvia y la escorrentía.
 K es el factor de erodabilidad o susceptividad de los suelos a erosionarse.
 LS es el factor del efecto combinado de largo y pendiente del camino.
 C es el factor que representa la cobertura vegetativa del área.
 P es el factor que representa prácticas de manejo existentes.
 A es el promedio estimado de pérdida de suelo en toneladas por acre por año.

Tabla 4
MPM recomendados para los caminos no pavimentados seleccionados

Camino o Segmento	MPM Recomendados
1	1, 2, 4
2	5, 4
3	1, 2, 4, 7
4	1, 2, 4
5	2, 4, 6
6	1, 2, 4
7	4
8	1, 2, 4, 7
9	2, 3, 4, 6
10	1, 2, 4

Nota. MPM recomendados:

1. Pendientes o declives (Road cross-sections)
2. Zanjas de drenaje (Water turnouts or wingditches)
3. Tubería de drenaje (Cross-drain culverts)
4. Piedra picada (Rip rap)
5. Drenaje abierto (Open top culvert)
6. Montículos o barras de agua (Waterbars)
7. Badén de drenaje (Drainage dips)

FIGURAS

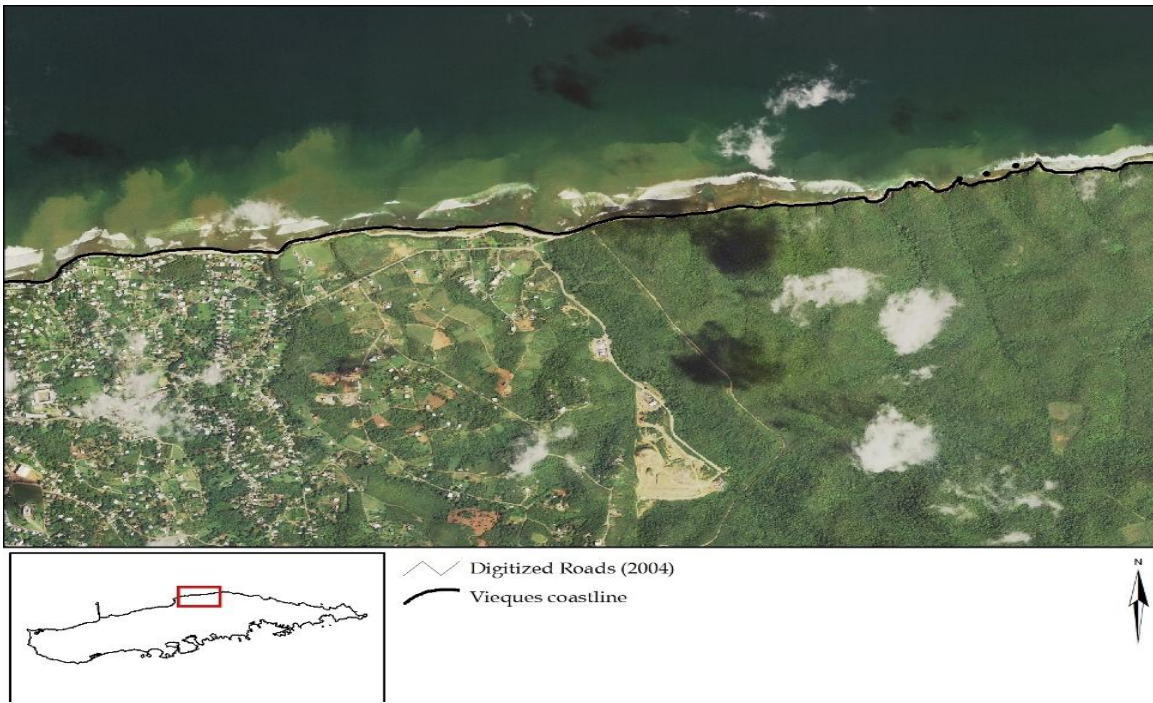
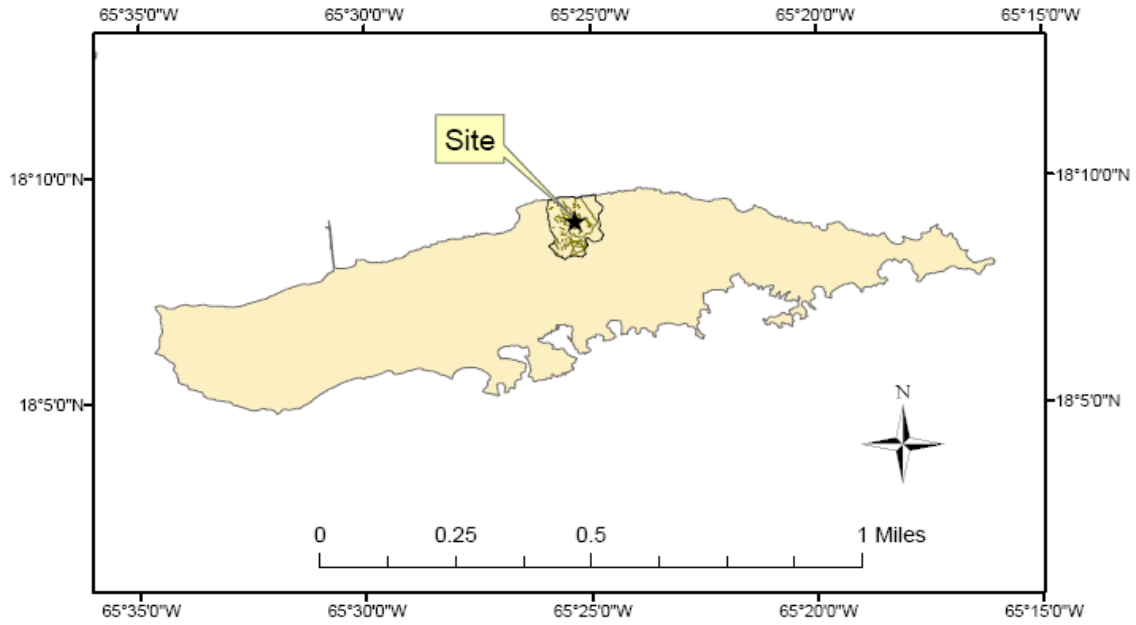


Figura 1. Área de estudio, Cuenca del Barrio Villa Borinquen y línea de la costa.

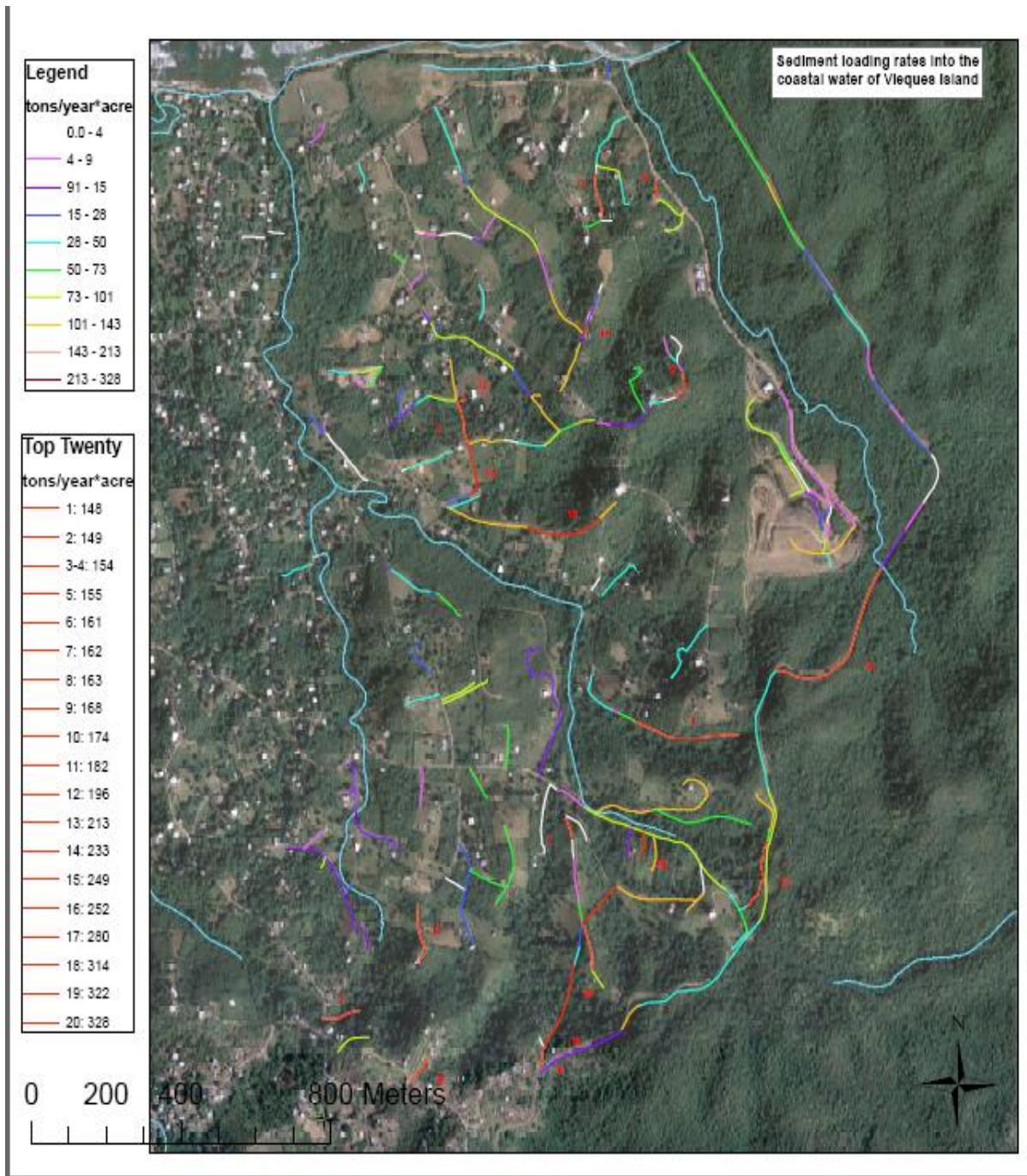


Figura 2. Caminos y segmentos de caminos y sus promedios estimados de pérdida de suelo.



Legend (ton/year)

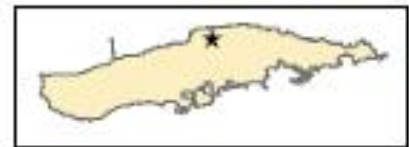
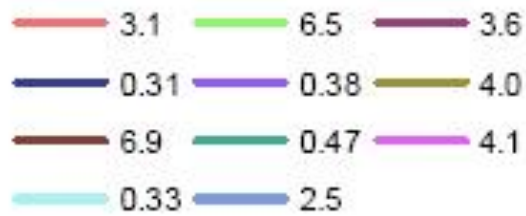


Figura 3. Caminos seleccionados y su promedio estimado de pérdida de suelo.

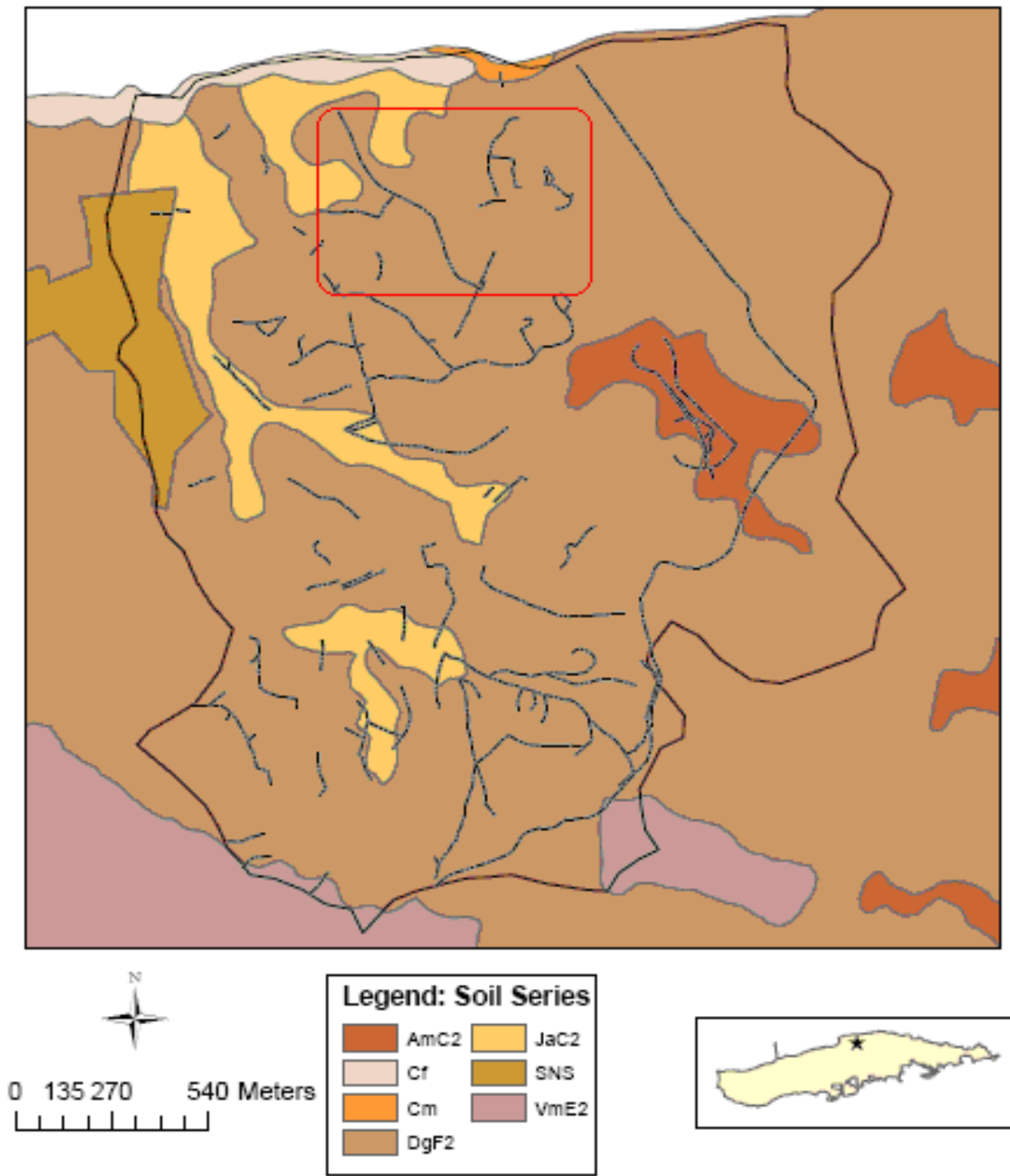


Figura 4. Serie de suelos en el área de estudio.

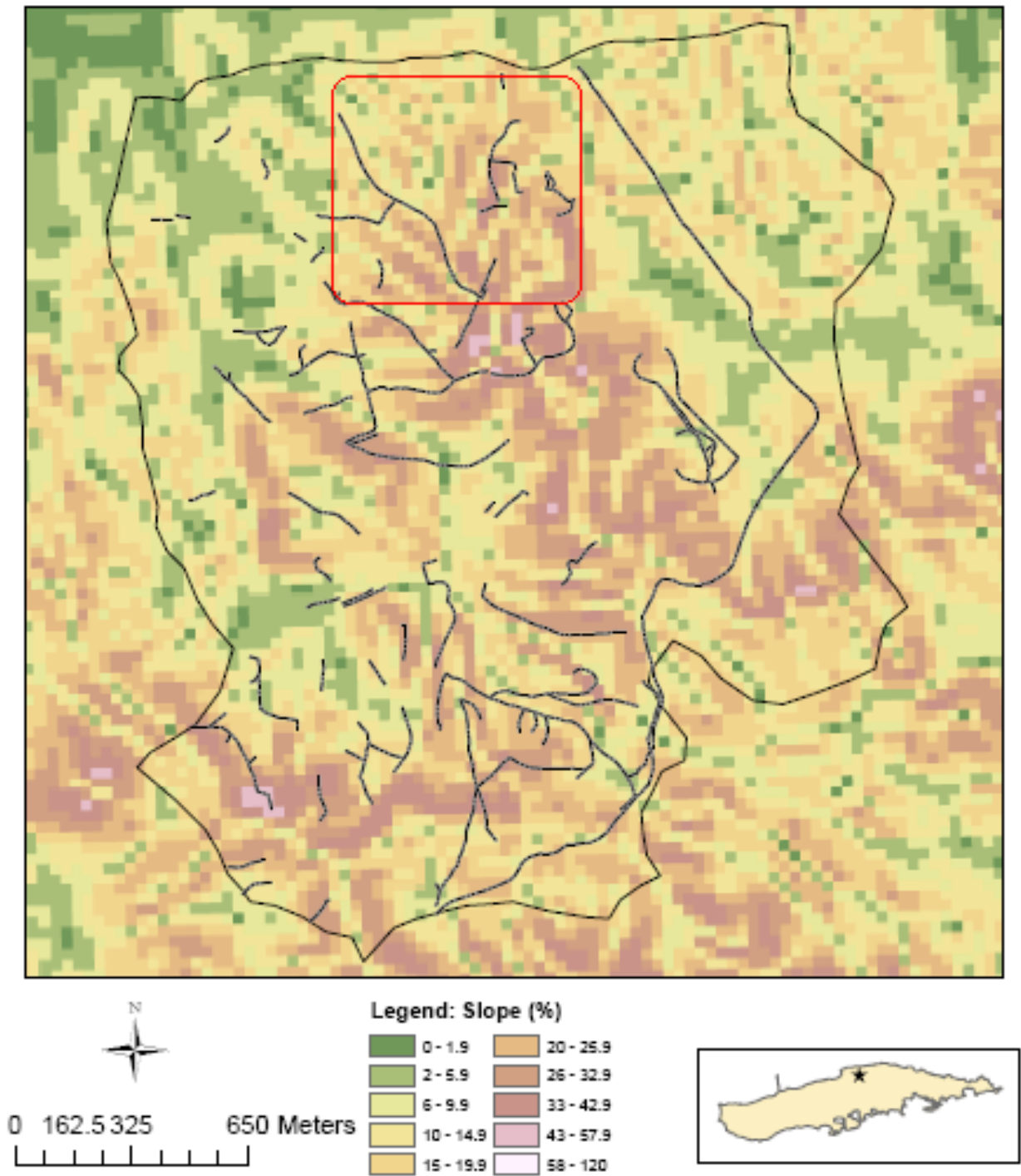


Figura 5. Porcentaje de pendientes (*slopes*) en el área de estudio.

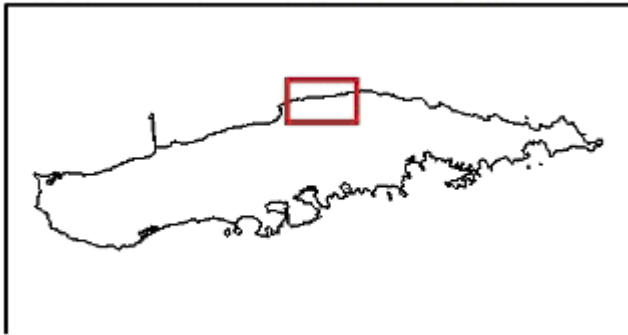


Figura 6. Camino 1.

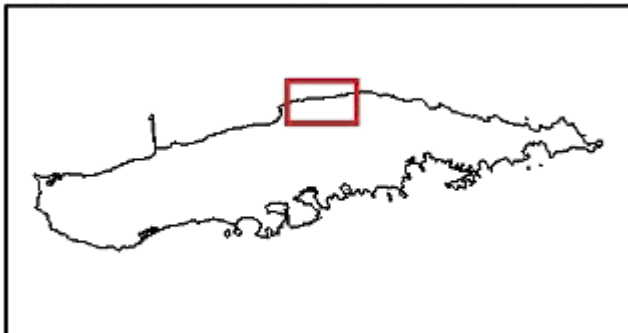


Figura 7. Camino 2.



Figura 8. Camino 3.

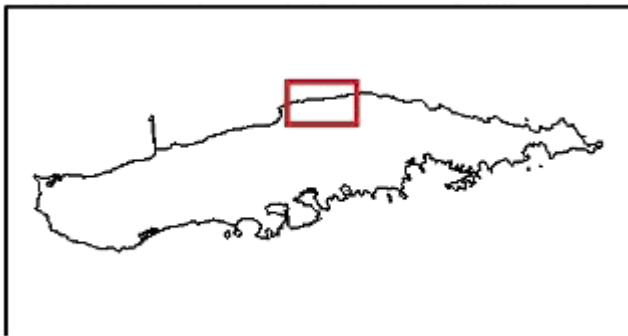


Figura 9. Camino 4.

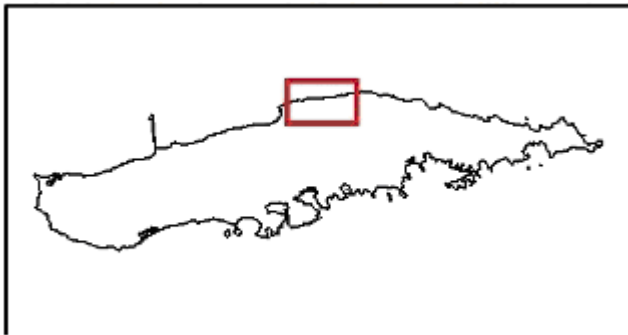


Figura 10. Camino 5.



Figura 11. Camino 6.

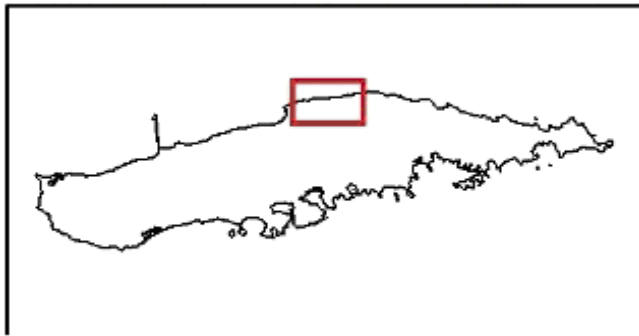


Figura 12. Camino 7.

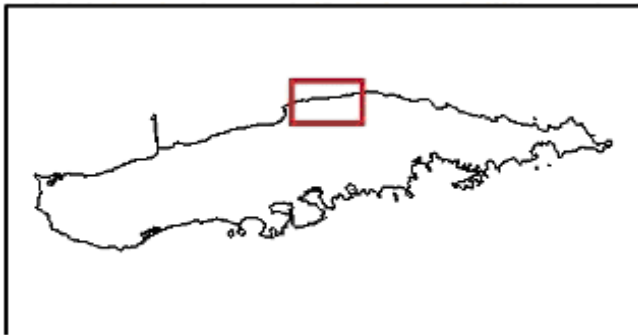


Figura 13. Camino 8

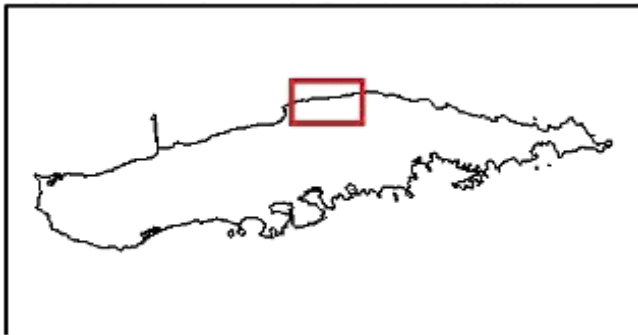


Figura 14. Camino 9.



Figura 15. Camino 10.

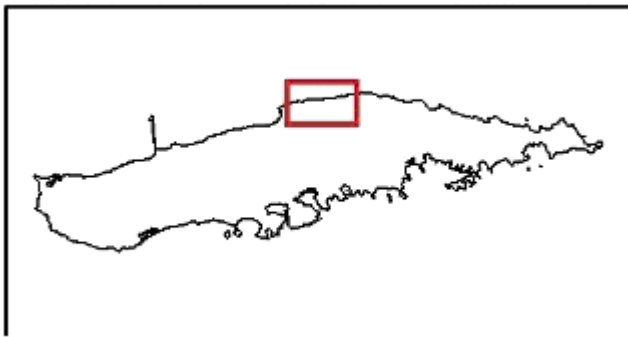


Figura 16. Erosión en el área de estudio y en la costa norte de Vieques.