



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

IMPACTOS POR EROSIÓN EN LA CUENCA Y
CRECIMIENTO URBANO EN LA ANP ESTERO SAN
JOSÉ DEL CABO, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Ecología de Zonas Áridas)

P r e s e n t a

Nicole Adriana Harmelin García

La Paz, Baja California Sur, Septiembre de 2019

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 14:00 horas del día 12 del Mes de Julio del 2019, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

“Impactos por erosión en la cuenca y crecimiento urbano en la ANP Estero San José del Cabo, Baja California Sur, México”

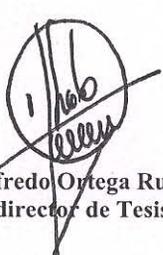
Presentada por el alumno:

Nicole Adriana Harmelin García

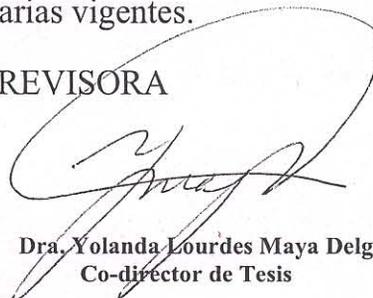
Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Ecología de Zonas Áridas**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA



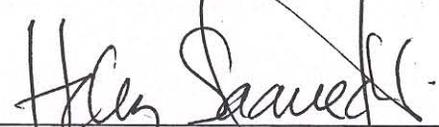
Dr. Alfredo Ortega Rubio
Co-director de Tesis



Dra. Yolanda Lourdes Maya Delgado
Co-director de Tesis



Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-tutor



Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,
Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos

Conformación de Comités

Comité tutorial

Dra. Yolanda L. Maya Delgado
Co-Director de tesis
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Dr. Alfredo Ortega Rubio
Co-Director de tesis
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-Tutor
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Comité Revisor de Tesis

Dra. Yolanda L. Maya Delgado
Dr. Alfredo Ortega Rubio
Dr. Enrique Troyo Diéguez

Jurado de Examen

Dra. Yolanda L. Maya Delgado
Dr. Alfredo Ortega Rubio
Dr. Enrique Troyo Diéguez

Suplente

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales

Resumen

El Estero San José del Cabo (ESJC) es la única laguna costera dulceacuícola del Municipio de Los Cabos, Baja California Sur, la cual desempeña diversos servicios ambientales; en consecuencia y por su importancia ambiental, económica, social y cultural, fue decretada como Área Natural Protegida Estatal el 10 de enero de 1994. Por su relevancia ambiental e hidrológica, es de suma importancia analizar la dinámica que presenta el entorno del ESJC, mediante la determinación de los factores que potencialmente lo pueden impactar, incluyendo la variación de los mismos en el tiempo y espacio. Los factores adversos mencionados en la declaratoria RAMSAR como principal problemática en el ESJC, se enmarcan en el cambio de uso del suelo, el crecimiento urbano de San José del Cabo y la elevada presión generada por los desarrollos turísticos. En este trabajo se determinan los cambios que existen en el crecimiento de los asentamientos humanos en la cuenca y los procesos erosivos del suelo aledaño a la mencionada ANP. Se seleccionaron y descargaron imágenes del satélite LANDSAT 8 y LANDSAT 7, las cuales incluyen el área de estudio en temporada húmeda, con nubosidad < 10% del área de la imagen. Mediante Sistemas de Información Geográfica se digitalizó el límite de la cuenca hidrológica del ESJC, comparando los mapas de uso de suelo y vegetación. Para dicho efecto, se utilizó el procedimiento de clasificación supervisada, basado en el método de Máxima Verosimilitud para el período del 2001 al 2017. Asimismo, se hicieron salidas al campo para la verificación de puntos y para la descripción y muestreo de perfiles de suelo. Los resultados sugieren para el ESJC, una sucesión de procesos erosivos en la zona de transición cuenca alta-media y cuenca media-baja, aunque prácticamente sin evidencias sobre las partes altas de las sierras que limitan la cuenca. Lo anterior obedece a la exacerbada concentración del desarrollo en las áreas cercanas a la costa. Dicho crecimiento urbano ha provocado fragmentación del hábitat y reducción de la superficie original protegida, lo cual ya afecta los servicios ambientales del estero. A partir de los resultados alcanzados se concluye que los principales problemas que amenazan al Estero San José del Cabo son la deforestación cuenca arriba, el excesivo crecimiento urbano aledaño al arroyo San José del Cabo y sus tributarios, la privatización y cambios en el uso del suelo de áreas contiguas al estero y la construcción de marinas en la zona aledaña.

Palabras clave: Estero San José del Cabo, cambio de cobertura vegetal, crecimiento urbano, RAMSAR

Vo.Bo. Dr. Alfredo Ortega Rubio

Co-Director de tesis

Vo.Bo. Dra. Yolanda Lourdes Maya Delgado

Co-Director de tesis

Summary

The Estero San José del Cabo (ESJC) is the only freshwater coastal lagoon of the Municipality of Los Cabos and, because of its environmental, economic, social and cultural significance, it currently has the status of a Natural Protected Area. Given its relevance, it is imperative to analyze the dynamics of the ESJC environment, in order to determine which factors can potentially affect it, as well as their variation in time and space. The most important adverse factors mentioned in the RAMSAR declaration as the main problem in the ESJC are framed in the change of land use, the urban growth of San José del Cabo and the high pressure generated by tourism developments. In this work we determine the changes that exist in the growth of human settlements in the basin and the soil erosion processes surrounding this ANP. The selection and download of images from satellite LANDSAT 8 and LANDSAT 7 was carried out, which includes the study area in wet season, with a cloudiness <10% of the image area. Using Geographical Information Systems, the ESJC watershed boundary was digitalized, then the land use and vegetation maps, generated using the supervised classification procedure, based on the Maximum Likelihood method, were compared for the years from the 2001 to 2017. Field work was performed for the verification of points and the description and sampling of soil profiles. Results indicate that in the case of the ESJC erosive processes practically do not occur on the upper parts of the mountains that limit the basin. This is the case given the hyper-concentration of infrastructure in the areas near the coast. This urban growth has caused habitat fragmentation, loss of the original protected surface, as well as a decrease of environmental services. Derived from this work it is possible to conclude that the main problems that threaten the Estero San José are: deforestation in upper regions of the basin, excessive urban growth, and privatization of areas adjacent to the estuary. Specific recommendations are provided.

Key words: Estero San José del Cabo, vegetation cover change, urban growth, RAMSAR

Vo.Bo. Dr. Alfredo Ortega Rubio

Thesis Co-Director

Vo.Bo. Dra. Yolanda Lourdes Maya Delgado

Thesis Co-Director

Dedicatoria

A mi Familia. A mi madre Alicia García por darme la vida y siempre impulsarme a mejorar, a mis tías Gabriela, Adriana y mi abuela Alicia por su apoyo incondicional, y a Miguel por su paciencia y amor.

Los amo.

Agradecimientos

A CONACYT por el apoyo económico con la beca número 608421. A CIBNOR por ser la institución receptora de este posgrado.

Mil gracias al Dr. Alfredo Ortega Rubio y a la Dra. Yolanda Lourdes Maya Delgado, no solo por aceptar dirigir esta tesis, si no por su apoyo, paciencia, conocimientos compartidos y motivación incondicional hacia mí y este trabajo.

De igual manera al Dr. Enrique Troyo Dieguez, por su colaboración y asesoría como mi tutor durante este largo proceso.

A mis profesores la Dra. Aurora Breceda y Dr. Pedro Peña, sus clases me inspiraron y ayudaron a mejorar esta tesis.

Al personal de posgrado en especial a Horacio, Tania y Osvelia. Estoy segura que ningún alumno lo lograría sin ustedes.

Al M.C. Manuel Salvador Trasviña Castro y a la I.B.Q. Myriam Lizzeth Hernandez de Haro del Laboratorio de Edafología, por su ayuda en el procesamiento de mis muestras.

Al personal del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Gil Ezequiel Ceseña Beltran y Joaquin Rivera Rosas, por la capacitación otorgada y estar siempre dispuestos a resolver mis dudas.

A Jose Agustín Argueta Arriaga de coordinación de estudios ambientales, M.C. Christian Silva Bejarano del laboratorio de Ecología Vegetal, y al C. Rigoberto Olachea Geraldo del Dpto. de Mantenimiento. Por su colaboración en las salidas de campo, sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible.

A mis compañeros de maestría, especialmente a Erika, Judith, Mariana, Karla, David, Camila y Santiago. No podría haber tenido mejores compañeros para recorrer este camino.

Y finalmente a toda mi familia en especial a mi mamá y a Miguel gracias por su motivación.

	Contenido	
Resumen		i
Summary		ii
Dedicatoria		iii
Agradecimientos		iv
Contenido		v
Lista de figuras		vii
Lista de tablas		ix
1. INTRODUCCIÓN		1
1.1 Suelo y erosión		1
1.2 Teledetección		2
1.3 Areas Naturales Protegidas		3
1.4 Humedales		4
1.5 Servicios Ecosistémicos		5
1.6 Ramsar		5
1.7 Problemática		7
2. ANTECEDENTES		8
2.1 Antecedentes legales del Estero De San José		10
3. JUSTIFICACIÓN		15
4. HIPÓTESIS		16
5. OBJETIVOS		16
5.1 General		16
5.2 Particulares		16
6. MATERIAL Y MÉTODOS		17
6.1 Área de estudio		17
6.1.1 Cuenca San José del Cabo		17
6.1.2 Estero San José del Cabo		18
6.2 Metodología		20
6.2.1 Analisis de Imágenes		20
6.2.2 Trabajo de campo		21
6.2.3 Algebra de Mapas		24
6.2.4 Análisis de laboratorio		25

6.2.5 Análisis histórico de Estero San José del Cabo	26
7. RESULTADOS	27
7.1 Análisis de Imágenes	27
7.2 Algebra de mapas	29
7.3 Análisis Histórico	32
7.4 Análisis de Suelo	33
8. DISCUSIÓN	37
9. CONCLUSIONES	40
10. LITERATURA CITADA	42
11. ANEXOS	47
Anexo A. Descripción de perfiles	47

Lista de figuras

Figura 1. Delimitación del polígono y de la zona núcleo de la Reserva Ecológica Estatal “Estero San José” en septiembre de 1994.	11
Figura 2. Polígono de la Reserva Ecológica Estatal “Estero San José” en mayo de 2004.	12
Figura 3. Sub zonificación de la Reserva Ecológica Estatal “Estero San José” según el programa de manejo de junio de 2004.	13
Figura 4. Polígono de la Reserva Ecológica Estatal “Estero San José” decretado en abril de 2011.	14
Figura 5. Polígono delimitante del área correspondiente a la Cuenca San José del Cabo.	17
Figura 6. Fotografía del cuerpo de agua del humedal Estero San José del Cabo.	18
Figura 7. Fotografía del área con vegetación de palmar en el Estero San José del Cabo	19
Figura 8. Composición falso color a partir de la combinación de bandas espectrales 2, 3 y 4.....	21
Figura 9. Localización de los puntos verificados y muestreados en campo.	22
Figura 10. Verificación fotográfica de área erosionada; el uso de suelo es un banco de materiales.	23
Figura 11. Pozo a cielo abierto en punto de verificación, para la descripción del perfil del suelo.	24
Figura 12. Autoanizador láser de partículas del laboratorio de edafología, en el cual se realiza análisis de textura.	25
Figura 13. Parte del proceso para la determinación del porcentaje de materia orgánica.	26
Figura 14. Uso de suelo para el año 2001 en la Cuenca San José del Cabo.	27
Figura 15. Uso de suelo para el año 2017 en la Cuenca San José del Cabo.	28
Figura 16. Cambios en el uso de suelo para la Cuenca San José del Cabo en el periodo 2001 -2017.	30
Figura 17. Incremento en la superficie urbana en la Cuenca San José del cabo para el periodo 2001 – 2017.	31
Figura 18. Uso de suelo en zonas aledañas al Estero San José del Cabo para el año 2004.	32

Figura 19. Uso de suelo en zonas aledañas al Estero San José del Cabo para el año 2017.	32
Figura 20. Memoria fotográfica de la localidad “Camino al Bosque”.	36
Figura 21. Memoria fotográfica de la localidad “Casa en la curva”.	36

Lista de tablas

Tabla I. Coordenadas de los puntos verificados y muestreados en campo	22
Tabla II. Porcentajes de superficie de la cuenca que corresponden a cada clase en 2001 y 2017.	29
Tabla III. Resultados de análisis edafológicos de las muestras obtenidas en campo	34
Tabla IV. Resultados de los análisis de textura de las muestras obtenidas en campo.	35

1. INTRODUCCIÓN

En el municipio de Los Cabos se encuentran cinco zonas para la protección y conservación de recursos naturales, destacando el Estero San José del Cabo (ESJC) por su importancia tanto ambiental, económica, social y cultural de gran tradición para la comunidad municipal. Dentro de esta región se encuentra la única laguna costera dulceacuícola, representada por el ESJC; por tal motivo, el humedal es considerado de importancia internacional y es actualmente un sitio RAMSAR y Área de Importancia para la Conservación de las Aves (Breceda, 2007).

1.1 Suelo y erosión

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre (abarca el primer metro de profundidad), en la cual ocurren cambios (físicos y químicos) que se pueden identificar a simple vista, tocar, medir y analizar en laboratorios (INEGI, 2018).

El suelo es el resultado de diferentes factores formadores: material parental, relieve, clima, elementos biológicos y tiempo (Hans, 1941). Dependiendo de cómo estos factores interactúan, los suelos poseen una serie de características variadas (FAO, 1986). La textura, definida por las proporciones de arena, limo y arcilla y la profundidad del suelo, son características importantes en la capacidad de almacenamiento y conducción de agua, lo cual es necesario para la recarga de los acuíferos (Blanco, 2008).

Los suelos forman parte importante de los ecosistemas terrestres, ya que es el sustrato sobre el cual se desarrolla la vida vegetal y animal. Además, actúa como filtro y transformador de contaminantes (Maya, 2011) y al menos una parte de todos los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas terrestres suceden en el suelo (Maya, 2011), y podría considerarse como un recurso natural no renovable, por el tiempo que tardan en formarse (Maya, 2004).

El suelo recibe impactos de origen natural y antrópico que provocan diversos tipos de degradación, como la erosión que es el desgaste, arrastre y pérdida de partículas de suelo (Morgan, 2005) y que resultan en la pérdida de sus características.

La erosión que ocurre en el suelo depende directamente de diferentes variables (Morgan, 2005): destacando el clima, vegetación, hojarasca, tipo de suelo, topografía, velocidad del flujo y uso de la tierra. Se ha comprobado que la deforestación, el incremento de cultivos en terrenos que no fueron nivelados adecuadamente o sin terrazas y la expansión de los asentamientos, han contribuido a la erosión del suelo y a la sedimentación acelerada (de Graaff, 1996).

La dinámica que presentan factores como la deforestación, el cambio de uso de suelo y la configuración del terreno en el “Estero de San José del Cabo” y en la Cuenca de San José inciden directamente acelerando los procesos erosivos y a su vez el transporte de grandes cantidades de materiales terrígenos hacia zonas bajas de la cuenca y por consiguiente en la pérdida de los atributos naturales de estas regiones.

1.2 Teledetección

Esta técnica se basa en la capacidad de generar información de un objeto sin entrar en contacto directo con él. Las imágenes numéricas obtenidas por medio de satélites son una de las principales herramientas para llevar a cabo esta técnica ya que estas registran la radiación electromagnética que refleja la superficie (Sobrino, 2000).

Uno de los satélites más comúnmente utilizado y con información más completa, además de acceso libre, es el Landsat 8, el cual es un satélite de observación terrestre estadounidense lanzado el 11 de febrero de 2013. El octavo y más

reciente satélite del proyecto Landsat es operado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) desde 1972. El satélite Landsat 8 transporta dos instrumentos OLI y TIRS, que corresponden a las siglas en inglés para Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS). El sensor OLI provee acceso a nueve bandas espectrales que cubren el espectro desde los 0.433 μm a los 1.390 μm , mientras que TIRS registra de 10.30 μm a 12.50 μm (U.S. Geological Survey, 2017).

En la actualidad, la evaluación de recursos a través del procesamiento de imágenes numéricas digitales, ha demostrado ser un método eficaz utilizado en la evaluación de recursos naturales por sus altos niveles de precisión en los procesos de clasificación temática (March *et al.*, 2013).

1.3 Áreas Naturales Protegidas

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP's) son zonas del territorio nacional en donde los ambientes originales no han sido alterados de manera significativa por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y están sujetas al régimen de protección de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 2007).

Las ANP's tienen como finalidad preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones, así como la diversidad genética de las especies silvestres, en particular las que están en peligro de extinción, las amenazadas, las endémicas, las raras y las que se encuentran sujetas a protección especial. Se pretende también proteger los entornos naturales de zonas, monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos, así como las zonas turísticas, y otras áreas de importancia para la recreación, la cultura e identidad nacional y de los pueblos indígenas. Además de que proporcionan un campo propicio para la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio.

Existen tres tipos de ANP's, según el nivel de gobierno que las administra, las categorías (responsabilidad) federal, estatal o municipal. A nivel federal las categorías en las que se distinguen las ANP's son 6: Reservas de la Biosfera, Parques Nacionales, Monumentos Naturales, Áreas de Protección de Recursos Naturales, Áreas de Protección de Fauna y Flora, y Santuarios. En Baja California Sur las categorías que corresponden a nivel estatal y municipal según la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Baja California Sur (2010) son: Parques Urbanos, Zonas Sujetas a Conservación Ecológica y aquellas que conforme a los intereses de la comunidad sean declaradas como tales por el ejecutivo o por los municipios.

Existen además los sitios Ramsar, que son una estructura de conservación de humedales a nivel internacional.

1.4 Humedales

Existe una amplia gama de definiciones para los humedales, debido a la gran diversidad de sus tipos. Así, la Convención Internacional sobre Humedales de Importancia para Aves (Ramsar), los define como: "todas las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los 6 metros". Sin embargo esto resulta muy impreciso, por lo que Mitsch y Gosselink (2000) indican que los humedales deben tener uno o más de los siguientes tres atributos:

- a) El suelo o sustrato debe ser fundamentalmente hidromórfico, no drenado; es decir, debe estar saturado de agua de manera temporal o permanente;
- b) Presentar una lámina o capa de agua poco profunda o agua subterránea próxima al lecho.
- c) Al menos mantener predominantemente una vegetación acuática o hidrófita.

1.5 Servicios ecosistémicos

Los ecosistemas ofrecen una serie de servicios benéficos para las personas, la sociedad y la economía local y regional, que se conocen como servicios ecosistémicos o servicios de los ecosistemas (EM, 2005). Entre ellos, destacan los relacionados con el agua en virtud de que los humedales ofrecen suministro, regulación y purificación del agua y recarga de aguas subterráneas. De esta manera los humedales desempeñan funciones importantes en relación con el reciclamiento de nutrientes, mitigación del clima, seguridad alimentaria y una serie de beneficios culturales, incluyendo la generación de conocimientos, recreación y turismo, y formación de valores culturales, incluidos la identidad y los valores históricos

Los humedales son proveedores particularmente importantes de servicios ecosistémicos relacionados con el agua, toda vez que son fuentes fundamentales de este recurso. Regulan la cantidad de agua (incluida la disponibilidad de aguas superficiales) y la recarga de las aguas subterráneas, además de contribuir a regular los caudales y a mitigar el impacto de las tormentas. No menos importante es su función de control de la erosión y transporte de sedimentos, gracias a la cual contribuyen a la formación de tierras e incrementan la resiliencia ante las tormentas (Brick *et al.*, 2013)

1.6 Ramsar

La Convención sobre los Humedales, conocida como la Convención de RAMSAR, es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos naturales.

A la fecha existen 170 países que forman parte con un total de 2,335 sitios RAMSAR los cuales en conjunto tienen una superficie total de 249,613,278 ha. En México la convención entró en vigor el 4 de noviembre de 1986 y tiene

actualmente 142 sitios designados como Humedales de Importancia Internacional (sitios RAMSAR), con una superficie de 8,657,057 ha.

La misión de la Convención es “la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo”. Los países que se adhieren a la Convención de RAMSAR se comprometen a trabajar en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos, tanto en sus propios territorios como cooperando a nivel mundial y con otras partes. En el sentido más amplio, sus obligaciones en virtud del tratado se agrupan en los tres Pilares de la Convención (RAMSAR, 2014):

- **Uso racional de los humedales:** Las Partes tienen la obligación general de considerar la conservación de los humedales en sus planes para los usos de la tierra, la hidrología y las cuencas hidrográficas. Se han comprometido a aplicar la planificación que fuese necesaria y a promover, en la medida de lo posible, el uso racional de los humedales de su territorio (Artículo 3.1 de la Convención). Asimismo, las Partes deben comprometerse a establecer reservas naturales en humedales y promover la formación para el estudio, la gestión y la custodia de los humedales (Artículo 4).
- **Sitios de la Lista:** Otro compromiso contraído por Las Partes es designar en el momento de la adhesión al menos un humedal (Sitio RAMSAR) para ser incluido en la Lista de Humedales de Importancia Internacional (la “Lista de RAMSAR”) (Artículo 2.4) y promover su conservación. Además, Las Partes continuarán designando humedales idóneos de su territorio para ser incluidos en la Lista (Artículo 2.1). También están obligadas a informar a la Secretaría de RAMSAR en caso de que se hayan producido, se estén produciendo o puedan producirse cambios en las características ecológicas de los Sitios RAMSAR de su territorio (Artículo 3.2).

- Cooperación internacional: Las Partes también acuerdan celebrar consultas con otras Partes Contratantes sobre la aplicación de la Convención, especialmente en lo relativo a los humedales transfronterizos, los sistemas hídricos compartidos y las especies compartidas (Artículo 5).

1.7 Problemática

La dinámica ambiental que presenta el entorno del ESJC, con evidentes señales de deterioro, se debe a diversos factores que varían en tiempo y espacio, directamente relacionados entre sí, a escala local y regional. El volumen de precipitación a nivel local y el escurrimiento de agua están determinados por la magnitud de la tormenta y por la densidad de cobertura vegetal. A su vez la deforestación y el cambio de uso de suelo inciden directamente sobre el grado de erosión del suelo. Estos factores en su conjunto determinan la velocidad de los procesos erosivos y por ende el transporte de sedimentos hacia zonas bajas, lo cual puede impactar a los atributos naturales de esas regiones bajas (Olmos-Martínez, 2016).

Los factores adversos más importantes mencionados en la declaratoria RAMSAR como principal problemática en el ESJC, se enmarcan en el cambio de uso del suelo, el crecimiento urbano de San José del Cabo y la elevada presión generada por los desarrollos turísticos. Lo anterior conlleva el aumento en la tasa de erosión debido al impacto de actividades humanas, tales como apertura de caminos, extracción de especies forestales y ganadería (Olmos-Martínez *et al.*, 2018).

2. ANTECEDENTES

El crecimiento de las ciudades afecta, cada vez en mayor medida, las funciones y servicios ambientales prestados por los paisajes formados por coberturas naturales y semi-naturales preexistentes, provocando modificaciones que en algunos casos son irreversibles para los ecosistemas que las experimentan (Smith y Romero, 2009). La urbanización ha generado importantes procesos de fragmentación de los ecosistemas de humedal, determinados por la reducción o ruptura de la superficie de un hábitat o un tipo de cobertura y su separación en varios y pequeños fragmentos desconectados (Burel y Baudry, 2005; Forman, 1995), lo cual produce alteraciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Los humedales ubicados al interior de la ciudad o cercanos a ella, adquieren aún mayor importancia debido a que las funciones y mecanismos naturales de estos ecosistemas deben ser entendidos como servicios ambientales que reportan beneficios directos e indirectos a la humanidad (Ramsar, 2018; Smith y Romero, 2009). El desequilibrio que existe en la relación entre el desarrollo urbano y los humedales, tiene consecuencias, no solo el impacto ambiental negativo, sino además deteriora la calidad de vida de las poblaciones residentes, derivados de la utilización y ocupación de las tierras en forma desordenada, y la escasa planeación urbana (Rangel, 2015).

En 1993 se identificaron en la ANP ESJC nueve categorías de uso de suelo y vegetación: palmar, carrizal, tular, bosque de guamúchil, cultivos y huertas, bosque de mezquite, pastizales, matorral halófilo y áreas erosionadas (Maya, 1994).

La recurrencia de las tormentas tropicales en la zona en los últimos años y los impactos sobre las condiciones ambientales del Área Natural Protegida y su zona de influencia se pueden resumir con los siguientes puntos (Breceda, 2002; Santoyo, 2004):

- La ruptura de la barrera arenosa y el proceso de reconstrucción de la misma por efecto de los procesos costeros dominantes en la zona.
- La modificación de los cauces de la cuenca baja de San José, erosión, transporte de sedimentos y modificación de la vegetación y consecuentemente de la fauna.
- El acarreo de sedimentos de características granulométricas mayores y su depósito en el área del estero.
- La modificación de las características geomorfológicas, fisicoquímicas y biológicas de la laguna.
- La velocidad de la corriente destruyó superficies considerables de palmar y vegetación asociada a la ribera del estero.
- La modificación sustancial de la línea litoral del estero de San José y por ende de la zona federal.
- La modificación de la topografía del fondo del estero.
- La pérdida de hábitats para la flora y fauna propia de la REE.

Dichas afectaciones dan lugar al replanteamiento de las estrategias de manejo en la reserva conjuntamente con la necesidad de desarrollar un plan de manejo integral de la cuenca de San José, de tal manera que sea posible generar las políticas y acciones de prevención, protección y manejo de la cuenca.

La erosión no puede describirse exhaustivamente a una sola escala en particular, sino que es el resultado de complejas interacciones que suceden a diferentes escalas (Maya, 2011). Uno de los desafíos importantes en cualquier discusión sobre gestión y conservación de los ecosistemas es mantener la conciencia de la escala, y de la coexistencia de varias escalas. Los asuntos de escala interactúan con los de diversidad, especialmente con respecto a los tres elementos básicos e interactivos de la diversidad: cultural, biológica y espacial. No se debe subestimar la importancia de los tres elementos, y tampoco se debe permitir que uno de ellos predomine (Papayannis y Pritchard, 2008).

Maya (2011), en el diagnóstico ambiental de suelos, enfatiza la importancia de las escalas; presenta como caso de estudio la erosión de la cuenca de San José del Cabo en el año 2001, en donde menciona que los mayores problemas de erosión se presentan en la región central de la cuenca, que es el valle del arroyo, misma región en la que se observaba un crecimiento de infraestructura carretera, urbana y turística en ese momento.

Maya y Argueta (2007), además, realizaron estimaciones de erosión en 2001 cercanas al 21% del área de la cuenca. Dicho porcentaje se encontraba en algún proceso erosivo, relacionado principalmente al impacto de las actividades humanas. También era posible observar procesos erosivos en la parte oriental de la cuenca, justo en el área de la sierra La Trinidad, donde el tipo de suelo no permitía el fácil crecimiento de la vegetación (Argueta, 2009).

2.1 Antecedentes legales del Estero San José

El 8 de octubre de 1993 se decreta el área del Estero de San José como Reserva Ecológica Estatal bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica, publicado en el boletín oficial del Gobierno del estado el 10 de enero de 1994, con una superficie de 486-58-58 ha. Dicho decreto fue reformado el 6 de septiembre de 1994 (Fig. 1) debido a la modificación de los patrones de drenaje causados por el evento meteorológico extraordinario registrado los días 4 y 5 de noviembre de 1993, quedando con una superficie de 472-97-36.74 has (B.O. 1994. Septiembre. 06. No. 28. Tomo XXI).



Figura 1. Delimitación del polígono y de la zona núcleo de la Reserva Ecológica Estatal “Estero San José” en septiembre de 1994. Fuente: Armenta, 2015.

El 24 de mayo de 2004 (Fig. 2) el Gobierno del Estado publica el nuevo decreto de la Reserva en el que destaca el aumento de la superficie derivado del aporte de sedimentos (B.O. 2004. Mayo. 24. No. 31. Tomo XXXI). Una vez modificado el decreto, el Gobierno del Estado publicó el 2 de junio de 2004 (Fig. 3), la actualización del Programa de Manejo de la reserva (B.O. 2004. Junio. 02. No.35. Tomo XXXI).



Figura 2. Polígono de la Reserva Ecológica Estatal “Estero San José” en mayo de 2004. Fuente: Armenta, 2015.

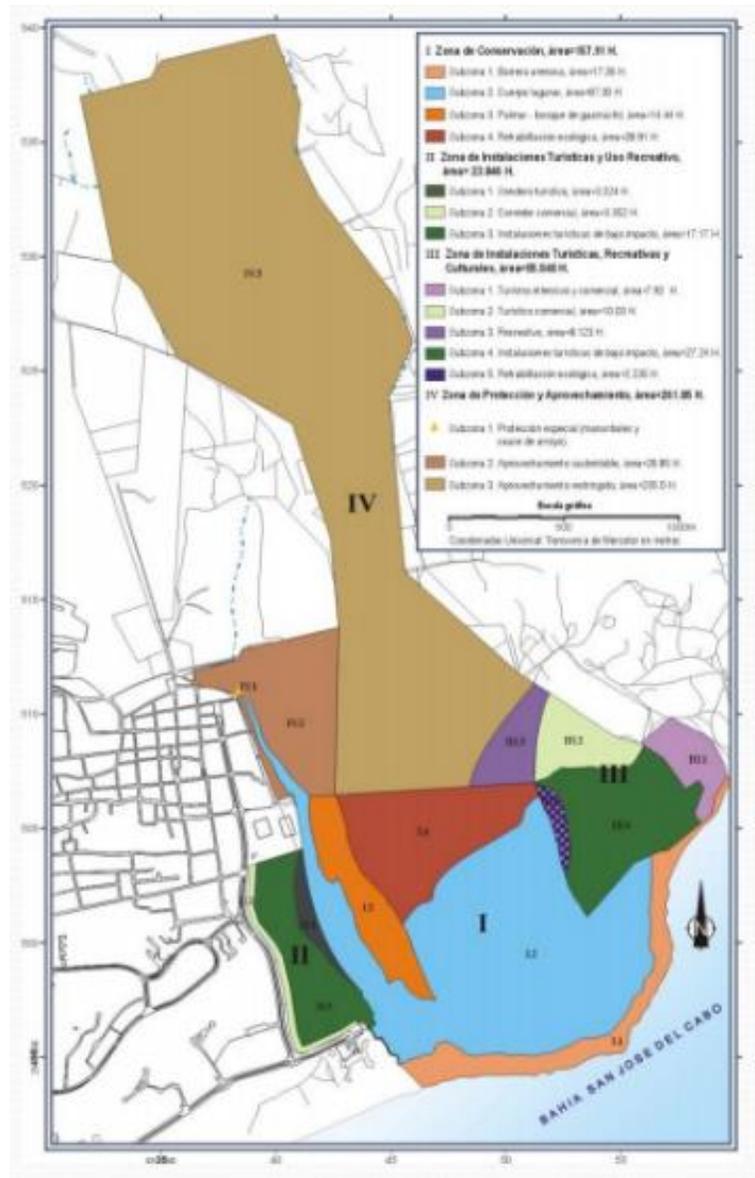


Figura 3. Sub zonificación de la Reserva Ecológica Estatal “Estero San José” según el programa de manejo de junio de 2004. Fuente: Ayuntamiento de los Cabos. Elaborado por Rodríguez, 2008.

El Sistema Ripario de la Cuenca y Estero de San José del Cabo, quedó inscrito como Sitio Ramsar el día 2 de febrero del 2008.

El 28 de febrero de 2011 se establece el convenio que celebra el Gobierno del Estado de Baja California Sur y el H. Ayuntamiento de Los Cabos, en el que se cede la administración de la Reserva ecológica estatal denominada “Estero de San José del Cabo” al municipio de Los Cabos (B.O. 2011. Febrero. 28. No. 12. Tomo XXXVIII). Ese mismo año, el 4 de abril (Fig. 4), se modifica el polígono de la REE “Estero de San José del Cabo” cambiando la superficie decretada de 512-22-98 ha a 766-684 ha (B.O. 2011. Abril. 04. No. 23. Tomo XXXVIII).



Figura 4. Polígono de la Reserva Ecológica Estatal “Estero San José” decretado en abril de 2011. Fuente: Armenta, 2015.

3. JUSTIFICACIÓN

Las ANP's, especialmente los humedales, son considerados entre los sistemas más frágiles y fuertemente presionados por la actividad humana, lo que hace indispensable evaluarlas para, con ello, proponer estrategias de manejo que permitan reducir los riesgos por factores antropogénicos y fenómenos naturales, para lograr conservar la integridad de los ecosistemas y su biodiversidad.

La dinámica que presenta el entorno del “Estero San José del Cabo” se debe a factores que varían en tiempo y espacio, tanto a escala local como regional, en virtud de que el estero se localiza en el punto de descarga de la cuenca de San José al mar. El volumen de precipitación y de escurrimiento de agua en la cuenca está determinado por la magnitud de la precipitación y por la densidad de la cobertura vegetal, en tanto que las variaciones en los procesos de erosión se asocian directamente con la deforestación y el cambio de uso de suelo. Todos estos factores se relacionan entre sí e inciden, finalmente, sobre el entorno del estero.

El crecimiento significativo que ha tenido la Cd. de San José del Cabo en la última década y el desarrollo de la infraestructura turística, así como la implementación de campos de golf y de nuevos hoteles con la consecuente demanda de agua alrededor del estero, hacen indispensable contar con la información actualizada para la toma de decisiones pertinentes.

Para controlar y evitar la consecuente pérdida total de los recursos y el crecimiento de la población, es necesario contar con instrumentos que permitan una detección precoz, exacta y rápida del deterioro ambiental. Las imágenes de satélite cumplen satisfactoriamente con las tres condiciones.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿De qué manera la erosión del suelo y el incremento de los asentamientos humanos han afectado las superficies de vegetación, el espejo de agua y la barrera arenosa del ANP Estero de San José?

4. HIPÓTESIS

El incremento de la actividad antropogénica en la cuenca en el periodo analizado corresponderá con el de erosión del suelo y con la modificación de la estructura y la dinámica en la ANP Estero de San José.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar la relación que existe entre los procesos erosivos del suelo en la cuenca y el crecimiento de los asentamientos humanos con la estructura y dinámica del Área Natural Protegida Estero de San José para el periodo 2001-2017.

5.2 Objetivos particulares

- Determinar el incremento de los asentamientos humanos en la cuenca de San José en el periodo 2001 – 2017.
- Determinar la modificación de la superficie erosionada en la cuenca de San José en el periodo 2001 – 2017.
- Determinar el impacto que ambas modificaciones tienen sobre las superficies de vegetación, espejo de agua, y barrera arenosa del estero San José.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

6.1.1 Cuenca San José del Cabo

La cuenca hidrológica de San José (Fig. 5), se ubica en la subprovincia fisiográfica Discontinuidad del Cabo, que a su vez se ubica en la porción sur de la Provincia Fisiográfica Península de Baja California (INEGI, 1995). Cuenta con una superficie de 1,275 km² y está delimitada por dos elevaciones montañosas: la sierra La Laguna al oeste cuyo parteaguas alcanza los 2,050 m y la sierra de La Trinidad al este, la cual no sobrepasa una altitud de 800 m (Vázquez-Miranda, 2006).

La Cd. de San José del Cabo es el asentamiento humano más importante dentro de la cuenca y, junto con la Cd. de Cabo San Lucas, constituyen uno de los centros turísticos más importantes del país, ya que dichas localidades concentran el 22% de la población total estatal y más del 50% de la infraestructura hotelera del estado de Baja California Sur.

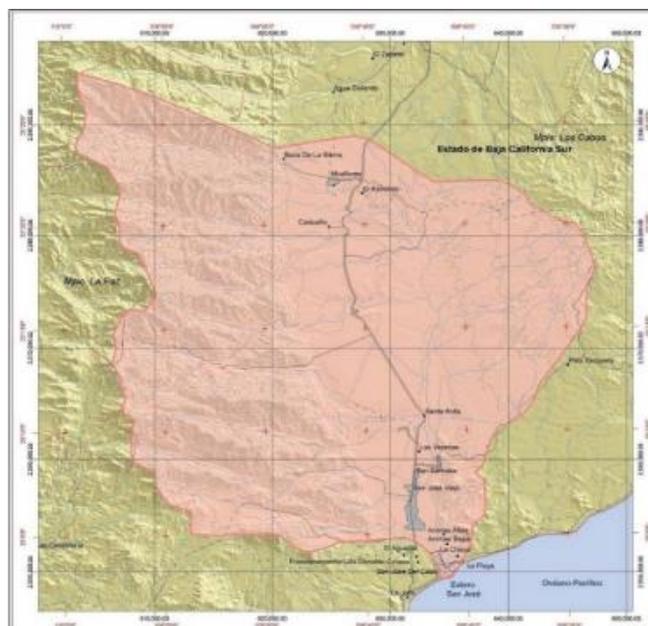


Figura 5. Polígono delimitante del área correspondiente a la Cuenca de San José del Cabo (CONANP- Ramsar, 2008).

6.1.2 Estero San José del Cabo

El estero de San José del Cabo (Fig. 6) se encuentra ubicado en el sur de la península de Baja California, en el punto de descarga al mar de la cuenca hidrológica de San José; es un sistema lacustre que se encuentra separado del Golfo de California por medio de una barrera arenosa que impide el intercambio de agua con el mar adyacente.



Figura 6. Fotografía, sobre su margen derecha, del cuerpo de agua del humedal conocido como “Estero San José del Cabo” (Fotografía: Nicole Harmelin).

En el Estero de San José existen varias comunidades vegetales. Alrededor del cuerpo de agua se encuentra el tular, carrizales, y tierras adentro palmares (Fig. 7) dominando la especie *Washingtonia robusta* (palma real), y estratos arbustivos y herbáceos. En pequeñas porciones del área se localizan el bosque de guamúchil y mezquital, el primero dominado por abundantes árboles de *Pithecellobium dulce*, y el segundo por *Prosopis articulata*. Asimismo, es importante señalar que en los oasis de la cuenca se ha reportada la presencia de *Cryptostegia grandiflora*, especie invasiva sumamente agresiva que sin un control apropiado puede llegar a afectar el cuerpo de agua (León de la Luz, 1999).

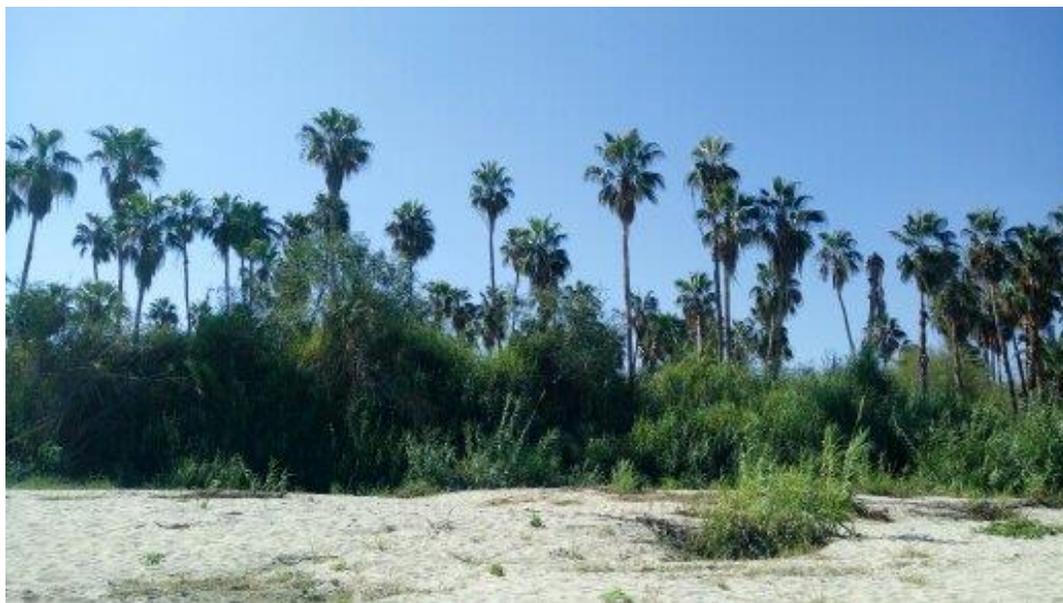


Figura 7. Fotografía de área con vegetación de palmar en el Estero San José del Cabo (Fotografía: Nicole Harmelin).

Es la última estación de descanso para aves acuáticas y playeras migrando hacia zonas del sur de México, Centroamérica o Sudamérica. Se han registrado un total de 217 especies, 97 de las cuales son migratorias, y 19 están en alguna categoría de riesgo, como el gallito marino (*Sterna antillarum browni*). Debido a la importancia de la avifauna del estero ha sido reconocido como AICA (Área de Importancia para la Conservación de Aves) (Breceda *et al.*, 2007).

No obstante su importancia, el estero es un sitio sujeto a una notoria presión natural y sobre todo antropogénica al que se le ejerce una gran presión, toda vez que se vierten aguas contaminadas dentro del cuerpo de agua, además de detectarse la introducción de especies exóticas como tilapia. Sin embargo, la amenaza más importante es la ya construida marina interior de Puerto Los Cabos, que se encuentra a 800 m de distancia del cuerpo de agua.

6.2 Métodos

6.2.1 Análisis de imágenes

A través del portal en línea del Sistema Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) se realizó una selección y descarga de imágenes numéricas de los satélites LANDSAT 8 y LANDSAT 7, donde se incluye el área de estudio en temporada húmeda, con una nubosidad < 10% del área de la imagen (U.S. Geological Survey, 2017).

El límite de la cuenca hidrológica de San José se generó como polígono por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del CIBNOR, mediante la digitalización con el SIG QGIS 2.18 Palmas. El criterio utilizado fue el parteaguas de las sierras La Laguna y La Trinidad, con base en las cartas topográficas escala 1:50,000 de INEGI (1998). El polígono resultante se rasterizó y se generó una máscara, la cual se utilizó para extraer el área de la cuenca de las imágenes numéricas LANDSAT 7 del año 2001 y LANDSAT 8 del año 2017.

Para ambas imágenes (2001 y 2017) se generó un mapa de uso de suelo y vegetación utilizando el procedimiento de clasificación supervisada, basado en el método de Máxima Verosimilitud mediante el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) del programa Qgis 2.18. La clasificación supervisada consistió en crear las firmas espectrales de las diferentes clases de uso de suelo y vegetación, con la información numérica de la imagen satelital, a partir de polígonos de entrenamiento de zonas verificadas. Éstos se delimitaron sobre una imagen de composición en falso color formada por la combinación de las bandas espectrales 2, 3 y 4 (Fig. 8). Las clases seleccionadas fueron: vegetación, arroyos, agua, zonas erosionadas y zonas urbanas.

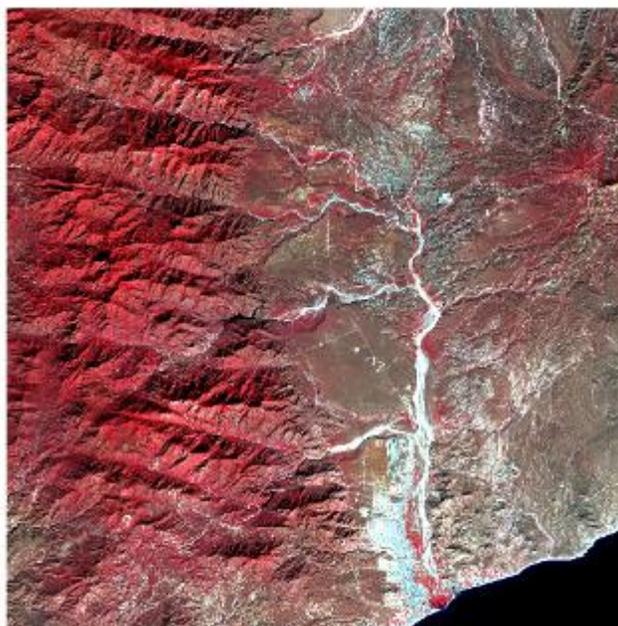


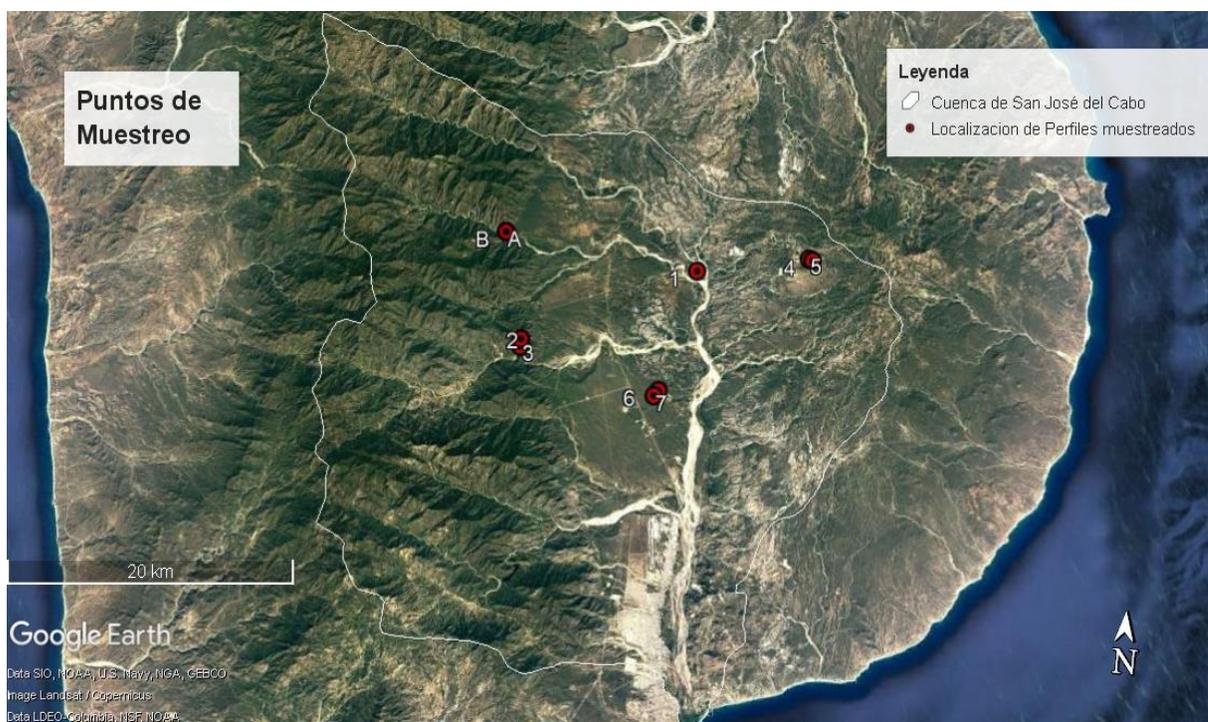
Figura 8. Composición falso color a partir de la combinación de bandas espectrales 2,3 y 4.

6.2.2 Trabajo de campo

La ubicación de los puntos de verificación se realizó en el mapa de Uso de suelo y Vegetación, generado por medio de la clasificación supervisada, el cual se comparó con el mapa de Uso de suelo y Vegetación realizado por Argueta en 2009, así como por el análisis de las imágenes de satélite históricas disponibles en el software Google Earth Pro. En total se realizaron 3 salidas de verificación de campo; la primera se realizó en conjunto con los equipos de trabajo de Pronatura Noroeste, WWF y CIBNOR, en donde se describieron y muestrearon los perfiles de suelo de dos localidades. La segunda y la tercera salidas fueron desarrolladas con personal del CIBNOR. De las 3 salidas se obtuvieron un total de 18 puntos de verificación en cada uno los cuales se realizó verificación fotográfica, y en 9 de ellos se describieron y muestrearon perfiles de suelo (Fig. 9 y Tabla I).

Tabla I. Coordenadas de los puntos verificados y muestreados en campo.

Punto de muestreo	Localidad	Coordenadas Datum WGS 84	
		Latitud	Longitud
A	Caduaño, Poza El Saltito	23.31824° N	-109.840255° O
B	Caduaño, Poza El Saltito	23.33173° N	-109.840330° O
1	Camino a Las Casitas	23.31935° N	-109.703510° O
2	Camino al Arroyo La Palma	23.26110° N	-109.713240 ° O
3	Camino al Arroyo La Palma	23.26540° N	-109.713720° O
4	Camino al Bosque	23.332796° N	-109.623047 ° O
5	Camino al Bosque	23.333557° N	-109.625700 ° O
6	Casa en la curva	23.242735° N	-109.723501° O
7	Casa en la curva	23.239290° N	-109.726358° O

**Figura 9.** Localización de los puntos verificados y muestreados en campo

En cada punto de verificación se siguió el siguiente procedimiento:

- Memoria Fotográfica: en todos los puntos de verificación se realizaron tomas fotográficas para comparar con los resultados de la clasificación el estado ambiental y el uso de suelo del área (Fig. 10).



Figura 10. Verificación fotográfica de área erosionada; el uso del suelo era un banco de materiales (Fotografía: Nicole Harmelin).

- Verificación Edafológica: en nueve de los puntos de verificación se realizaron descripciones morfológicas de perfiles de suelo en pozos a cielo abierto (Fig. 11), de máximo 120 cm de profundidad o hasta donde se encontró una fase física limitante. En cada perfil se identificaron y se describieron con detalle los horizontes observados.



Figura 11. Pozo a cielo abierto en punto de verificación, para la descripción de perfil de suelo (Fotografía: Nicole Harmelin).

6.2.3 Álgebra de mapas

Las clasificaciones resultantes del 2001 y 2017 fueron comparadas a través de la “calculadora raster”, del programa Qgis, la cual permite realizar operaciones matemáticas con los valores existentes en una capa digital. Primero, a través de una igualdad, se aislaron las clases de interés de las clasificaciones creando mapas booleanos, los cuales son mapas digitales con sólo valores posibles de 0 y 1. Con este procedimiento se crearon 4 mapas “erosión 2017”, “erosión 2001”, “zona urbana 2017” y “zona urbana 2001”.

Con los nuevos mapas se realizó una comparación directa entre la misma clase de años diferentes, es decir, “erosión 2001 vs erosión 2017” y “zona urbana 2001 vs zona urbana 2017”. Cada comparación pareada dio como resultado una capa

digital completamente nueva, la cual incluyó, para la comparación de erosión, 3 clases que distinguen características diferentes: 1) áreas que se han mantenido erosionadas desde 2001; 2) áreas que estaban erosionadas en 2001, las que sin embargo no se encuentran en la clase de erosión en 2017, y 3) áreas de erosión en 2017 que en 2001 no estaban erosionadas.

Este mismo proceso se realizó con la clase de zona urbana, donde se obtuvieron dos clases: 1) áreas que ya eran zona urbana en 2001 y también en 2017, y 2) áreas que no eran zona urbana en 2001 pero sí en 2017.

6.2.4 Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo recolectadas en el campo se analizaron en el Laboratorio de Edafología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Los parámetros analizados fueron: textura (NOM-021 RECNAC-2000 AS-09) (Figura 12); calcio soluble (Cheng y Bray, 1951; Jackson, 1958); carbonatos (Reitemeier, 1943); capacidad de campo (Colman *et al.*, 1980); potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica (Jackson, 1958); materia orgánica (Fig. 13) (Walkley y Black 1934); y densidad aparente (Jackson, 1976).



Figura 12. Autoanalizador láser de partículas, del Laboratorio de Edafología en el cual se realiza el análisis de textura (Fotografía: Nicole Harmelin).



Figura 13. Parte del proceso para la determinación del porcentaje de materia orgánica (Fotografía: Nicole Harmelin).

6.2.5 Análisis Histórico del Estero San José

Con el objeto de hacer un análisis a mayor detalle del estero, se descargaron 16 imágenes históricas del Estero San José del satélite usado por la plataforma Google Earth con la máxima resolución disponible, para poder hacer una comparación temporal del área, las cuales cubrían el periodo 2004 a 2017. Con el programa Qgis 2.18 dichas imágenes se georreferenciaron y se digitalizaron los polígonos de interés a comparar: espejo de agua, vegetación y barrera arenosa.

Para un análisis más integral de la información recabada se buscó una base de datos histórica de los fenómenos naturales (huracanes y tormentas) que hubieran impactado en la ANP durante el periodo 2004-2017, incluyendo eventos extraordinarios como incendios; asimismo, se tomaron en cuenta los cambios en el polígono reflejados en las imágenes, algunos de ellos plasmados en documentos de dominio público.

7. RESULTADOS

7.1 Análisis de imágenes

En la figura 14 podemos apreciar la superficie ocupada por vegetación, por arroyos y por erosión en la Cuenca de San José en el año 2001.

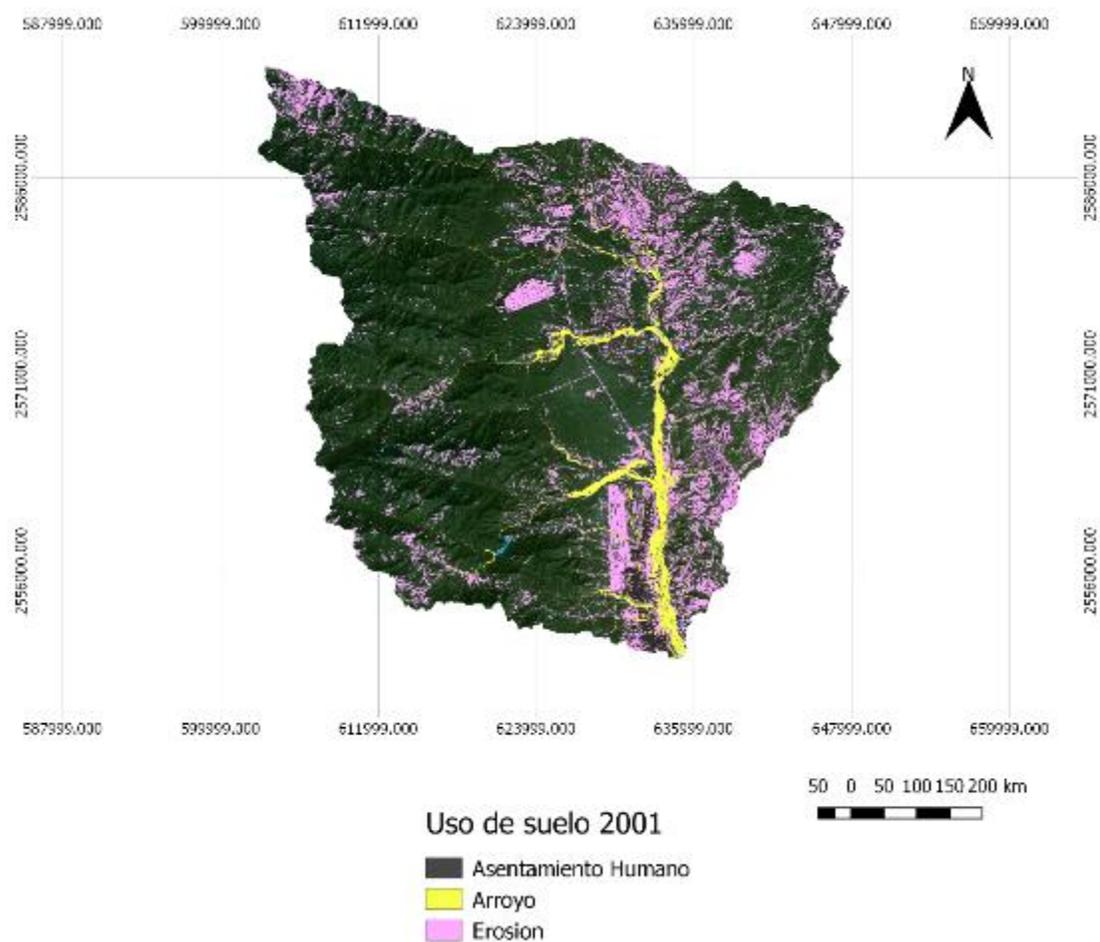


Figura 14. Uso del suelo para el año 2001 en la cuenca de San José del Cabo.

En la figura 15 se aprecian las superficies mencionadas para el año 2017.

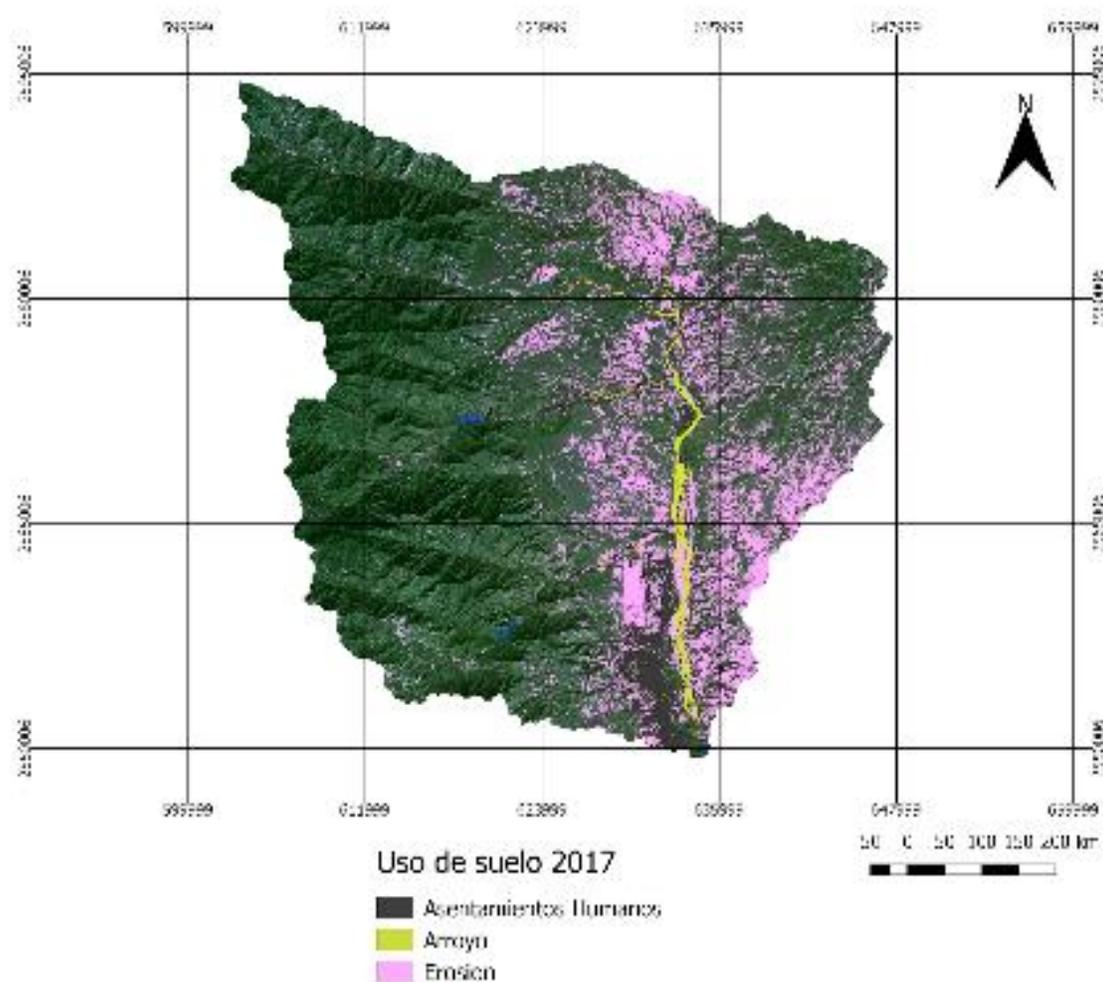


Figura 15. Uso del suelo para el año 2017 en la Cuenca de San José del Cabo (Elaboración propia).

En la tabla II se muestran los porcentajes de superficie de la cuenca que corresponden a cada clase en 2001 y 2017. Se observa que hubo una aparente disminución del área erosionada, de la vegetación y de los arroyos, mientras que aumentó la superficie de asentamientos humanos.

Tabla 2. Porcentajes de superficie de la cuenca que corresponden a cada clase en 2001 y 2017.

Clase	2001 (%)	2017 (%)	Diferencia (%)
Erosión	13.65	13.31	0.34 (-)
Asentamientos Humanos	3.61	6.51	2.90 (+)
Vegetación	79.75	79.10	0.65 (-)
Arroyos	2.90	1.05	1.85 (-)
Agua	0.09	0.03	0.06 (-)

7.2 Álgebra de mapas

De la integración (resta geo-algebraica) de ambas imágenes se obtiene la figura 16, en la cual se muestran las áreas que se mantuvieron erosionadas, aquellas que se recuperaron, otras que cambiaron a zona urbana y las extensiones que presentan nueva erosión. En la misma figura se observa que el 92% de la superficie forestada se mantuvo sin cambio. En el 8% de la superficie restante que sí tuvo cambios podemos observar lo siguiente: la superficie que en 2001 estaba erosionada se mantuvo en un 97% con esta condición, en tanto que el 3% del área originalmente erosionada se recuperó o cambió su uso de suelo a área urbana. Asimismo, de la superficie con cubierta vegetal en 2001 el 4% sufrió procesos erosivos. Finalmente, el área urbana se incrementó aproximadamente en un 80%.

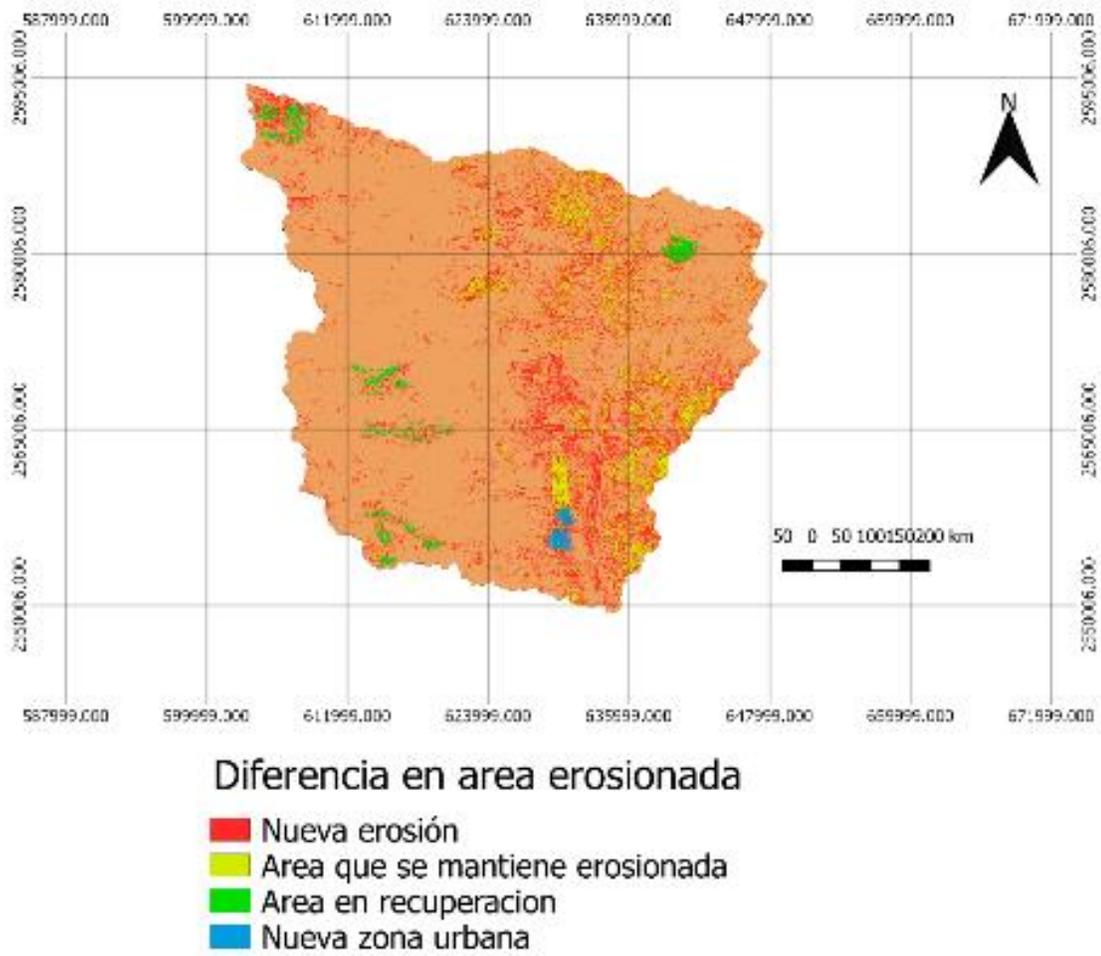


Figura 16. Cambio en el uso de suelo para la Cuenca de San José del Cabo para el periodo 2001 – 2017.

En la figura 17 se muestra el crecimiento de la superficie urbana a detalle. Se puede observar el área específica de crecimiento, concentrándose éste hacia el oeste del asentamiento original.

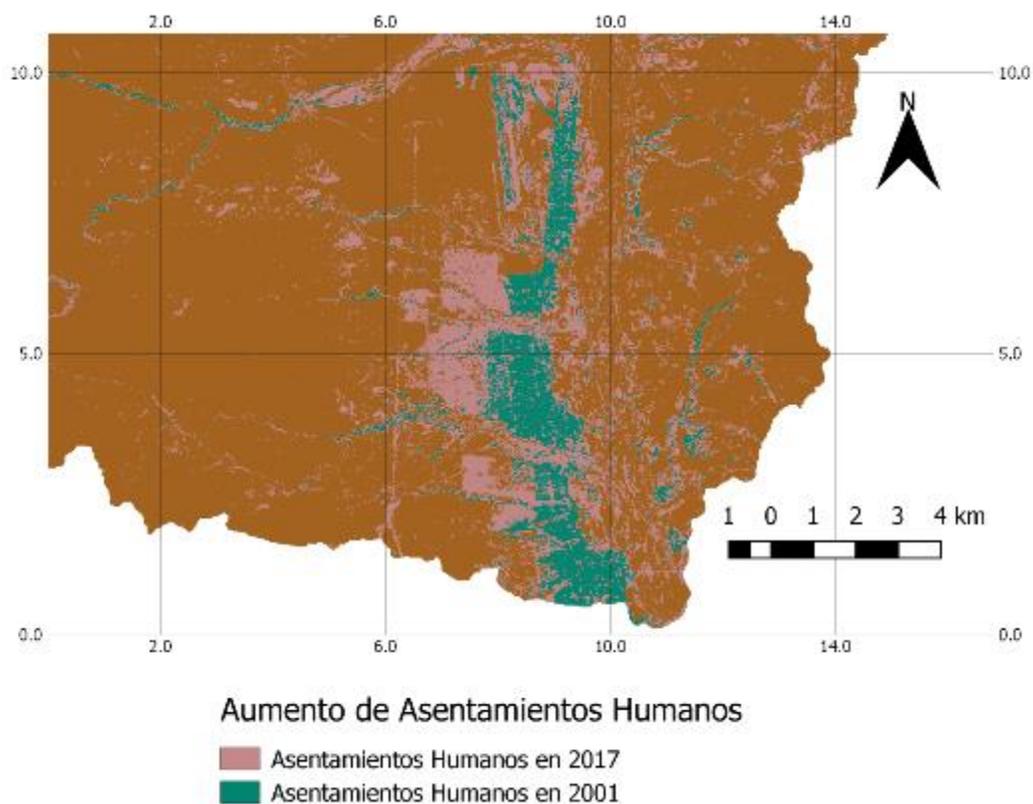


Figura 17. Incremento de la superficie urbana en la Cuenca de San José del Cabo

7.3 Análisis Histórico

En la figura 18 se presenta el uso del suelo en las zonas aledañas al Estero San José para el año de 2004. En la figura 19 se muestra el uso de suelo para el 2017.

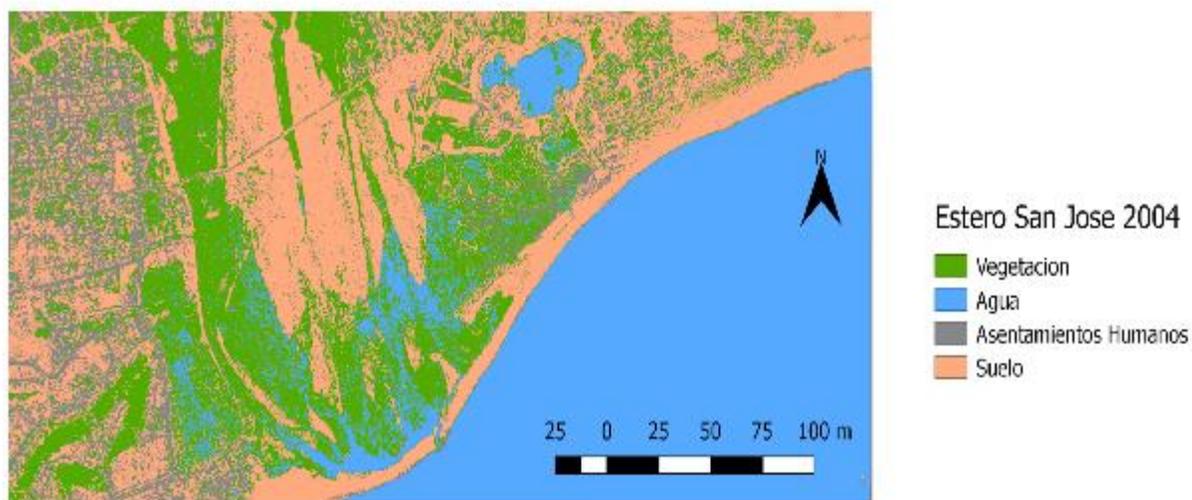


Figura 18. Uso del suelo en las zonas aledañas al Estero de San José para el año 2004.

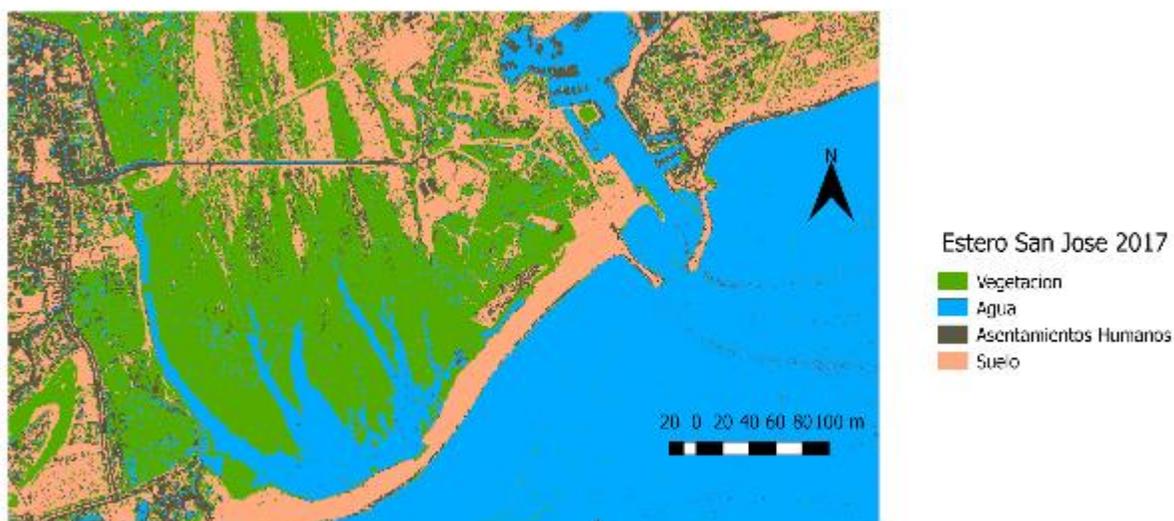


Figura 19. Uso de suelo en las zonas aledañas al Estero de San José para el año 2017.

Al contrastar ambas imágenes, resalta sobre todo la construcción de una marina y de escolleras a aproximadamente un kilómetro al este del estero (margen izquierda). Asimismo, se destaca la construcción de infraestructura en una superficie de aproximadamente 10 ha, justo a un lado del estero.

Cabe enfatizar que para privatizar y cambiar el uso del suelo en dicha superficie se modificó el decreto de reserva para deslindar y sacar estas hectáreas del polígono original, alterando una fracción del entorno del estero, principalmente la vegetación natural establecida y cegándose una parte del estero.

Asimismo, cabe hacer notar que de 2004 a 2017 la barrera arenosa refleja alteraciones en sus dimensiones, toda vez que se percibe que ha disminuido su grosor, lo que sugiere que el mar ha venido ganando terreno, lo cual es una percepción hipotética resultado del análisis de imágenes y sujeta a comprobación.

7.4 Análisis de suelo

En la tabla III se presentan los resultados de las muestras obtenidas en el campo. Se pueden observar diferencias entre perfiles de suelo sanos comparados con suelos erosionados, como por ejemplo en profundidad, en número de horizontes y en contenido de materia orgánica. En la tabla IV se muestran los resultados de textura para cada muestra de suelo obtenida.

Tabla III. Resultados de análisis edafológicos de las muestras

Perfil	Localidad	Condición	Horizonte	Profundidad	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	Da (g cm ⁻³)	Mg (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Carbonatos (mg kg ⁻¹)	Bicarbonatos (mg kg ⁻¹)	CC (%)	Pmp (%)
A	Las Pozas	Conservado	C1	0-30	7.23	0.09	0.14	1.62	2.4	20	n/a	610.20	8.7	1.5
B	Las Pozas	Conservado	A1	0-12	6.61	0.16	4.28	1.31	7.30	52.10	n/a	1220.40	20.80	4.50
			B21	0-18	7.33	0.2	0.46	1.14	12.20	48.10	n/a	1708.60	n/a	4.00
1	C. Las Casitas	Erosionado	B22k	18-45/66	9.02	0.42	0.07	1.17	21.90	16.00	144.20	8237.70	n/a	3.00
			B23k	45/66-82	9.29	0.59	0.20	1.09	316.10	40.10	240.40	13180.40	n/a	3.10
2	C. al arroyo la palma	Erosionado	C1	0-18	7.86	0.22	0.33	1.30	19.40	44.10	48.10	6712.20	n/a	4.20
			A11	0-2	7.69	1.05	4.98	1.17	77.80	376.80	n/a	29289.70	n/a	2.60
			A12	2-10/23	7.54	0.16	1.83	1.25	12.20	40.10	n/a	2990.00	n/a	3.30
3	C. al arroyo la palma	Conservado	B	10/23 - 42	7.37	0.15	1.18	1.19	19.40	36.10	n/a	4393.50	n/a	4.00
			C1	42-54	7.33	0.12	1.11	1.20	19.40	36.10	n/a	5491.80	n/a	3.70
4	C. al Bosque	Recuperación	A1	0-21	5.71	0.06	0.53	1.61	7.29	20.04	n/a	610.20	9.43	2.28
			B21	21-57	6.19	0.03	0.13	1.58	12.16	12.02	n/a	488.16	9.52	2.93
			B22	57-80	6.24	0.03	0.33	1.59	12.16	8.02	n/a	610.20	10.48	2.17
5	C. al Bosque	Erosionado	C1	0-15	6.11	0.03	0.20	1.58	2.43	8.02	n/a	366.12	8.55	8.43
6	Casa en la curva	Erosionado	A1	0-28	6.84	0.11	0.39	1.54	12.16	36.07	n/a	1098.36	11.49	5.32
			B2	28-46	6.53	0.07	0.40	1.44	34.04	32.06	n/a	976.32	17.14	11.83
			A11	0-18	6.45	0.04	0.59	1.64	7.29	12.02	n/a	610.20	9.40	2.54
7	Casa en la curva	Conservado	A12	18-32	6.51	0.04	0.53	1.56	97.25	160.32	n/a	610.20	9.91	2.56
			B21	32-56	6.66	0.03	0.46	1.55	14.59	12.02	n/a	488.16	9.17	0.02
			B22	56-80	6.66	0.02	0.46	1.52	8.86	24.05	n/a	610.20	11.36	0.04

CE = conductividad eléctrica; MO = materia orgánica; Da = densidad aparente; CC = capacidad de campo; Pmp = punto de marchitez permanente

Tabla IV. Resultados de los análisis de textura de las muestras obtenidas en campo.

Perfil	Localidad	Condición	Horizonte	Profundidad (cm)	Arcilla	Textura			textura
						Limo (%)	Arena		
A	Las Pozas	Conservado	C1	0-30	0.0	4.6	95.4		arena
B	Las Pozas	Conservado	A1	0-12	0.1	31.0	68.9		franco arenoso
1	Camino a Las Casitas	Erosionado	B21	0-18	0.0	2.2	97.8		arena
			B22	18- 45/66	0.0	3.1	96.9		arena
			B23	45/66-82	0.0	5.2	94.8		arena
2	Camino al arroyo la palma	Erosionado	B2	0-18	0.0	3.5	96.5		arena
			A11	0-2	0.0	2.7	97.3		arena
3	Camino al arroyo la palma	Conservado	A12	2-10/23	0.0	8.2	91.9		arena
			B	10/23 - 42	0.0	4.7	95.5		arena
			C1	42-54	0.0	5.3	94.7		arena
4	C. al Bosque	Recuperacion	A1	0-21	0.2	11.0	88.8		arena
			B21	21-57	0.6	14.4	85.0		franco arenoso
5	C. al Bosque	Erosionado	B22	57-80	0.5	8.7	90.8		arena
			C1	0-15	7.0	32.0	61.0		franco arenoso
6	Casa en la curva	Erosionado	A1	0-28	2.6	26.1	71.3		franco arenoso
			B2	28-46	9.1	52.2	38.7		franco limosa
			A11	0-18	0.5	13.0	86.5		arena
7	Casa en la curva	Conservado	A12	18-32	0.3	12.7	87.0		arena
			B21	32-56	1.0	8.0	91.0		arena
			B22	56-80	1.4	23.1	75.6		franco arenoso

En el Anexo A se presentan las descripciones morfológicas de los perfiles descritos y muestreados.

En las figuras 20 y 21 se presentan ejemplos de los resultados de la memoria fotográfica, en donde se comparan perfiles de suelos sanos y su correspondiente perfil de suelo erosionado.



Figura 20. Memoria fotográfica de la localidad “Camino al Bosque”. Donde A: Perfil de suelo en recuperación, B: Paisaje de suelo en recuperación, C: Perfil de suelo erosionado y D: Paisaje de suelo erosionado.

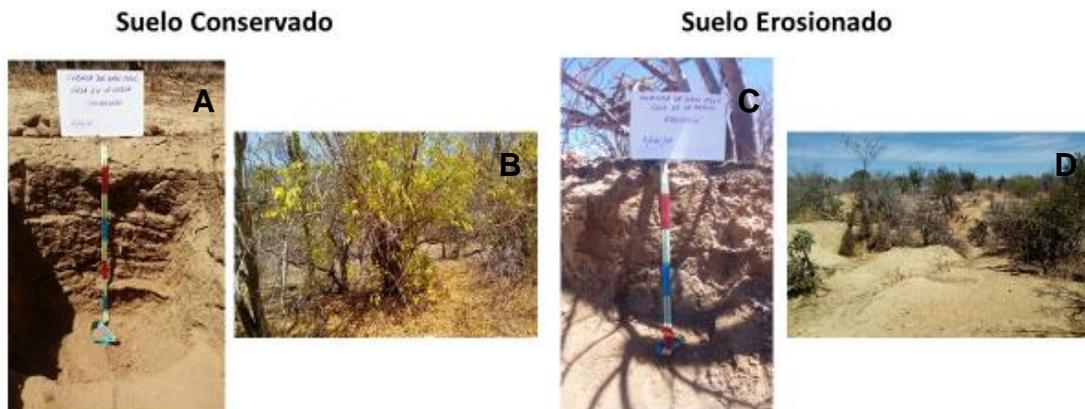


Figura 21. Memoria fotográfica de la localidad “Casa en la curva”. Donde A: Perfil de suelo en recuperación, B: Paisaje de suelo en recuperación, C: Perfil de suelo erosionado y D: Paisaje de suelo erosionado.

8. DISCUSIÓN

En contraste con lo que se reporta para otras cuencas (Alvarado-Cardona *et al.*, 2007; Sánchez-Hernández *et al.*, 2013), en el caso de la cuenca San José los procesos erosivos no son evidentes sobre las partes altas de las sierras que limitan la cuenca. Ello ocurre así dada la colonización de las partes bajas de la cuenca, en el valle del arroyo San José y la hiper-concentración del desarrollo en las áreas cercanas a la costa. Sin embargo, se presenta una gran cantidad de zonas que se han destinado como banco de materiales.

En este trabajo se pudo comprobar que la erosión está ligada a las actividades humanas. Lo anterior debido a que se esperaba que la erosión en la cuenca se presentara en las partes altas de las sierras, que es en donde se encuentran las áreas con mayor pendiente, y en cambio los mayores problemas de erosión están relacionados con: asentamientos humanos, apertura de caminos, ranchos y bancos de material.

De acuerdo con el análisis de porcentajes de uso de suelo, el porcentaje de arroyos y erosión disminuyeron, mientras aumentó el de asentamientos humanos. Ésto se puede explicar porque los asentamientos humanos, en parte, fueron desarrollados en zonas que antes eran área erosionada y zonas de arroyo. Es precisamente éste el motivo del aumento de pérdidas materiales en los últimos años en viviendas e infraestructura en zonas de riesgo, debidos a fenómenos meteorológicos; un ejemplo de ello fue lo sucedido con la tormenta tropical Lidia en el año 2017.

Al comparar los perfiles de suelo sano y suelo erosionado se encuentra diferencia en contenido de materia orgánica: los suelos sanos tienen mayor cantidad de materia orgánica (Tabla III), debido al aporte por parte de la vegetación, de la que carecen los suelos erosionados. También hay diferencias en profundidad, por la eliminación del suelo, a tal grado que llegan a presentarse suelos decapitados y la consecuente pérdida de servicios ambientales. En los suelos erosionados y en

proceso de erosión llega el momento en el que ya no hay condiciones para que la vegetación se pueda establecer.

Los puntos A y B se hicieron en una salida de prospección y ambos eran sanos, ya que uno era en un piso de arroyo que mantiene su dinámica natural y el otro fue en la ladera de un arroyo con suelos muy delgados pero sanos, ya que lleva a cabo todos los ciclos biogeoquímicos del ecosistema, además que cuenta con cobertura vegetal sana y un muy buen porcentaje de contenido de materia orgánica (Tabla III). Esto demuestra que no necesariamente los suelos delgados son suelos degradados.

Comparando los puntos de la localidad “C. al Arroyo La Palma”, el perfil de suelo erosionado se encuentra decapitado, pues no tiene horizontes A ni B, y probablemente el horizonte C descrito sea el material original que se está meteorizando. Esto se puede deducir porque en el perfil de suelo conservado de esta misma localidad no se encontraron carbonatos ni bicarbonatos en la matriz del suelo descrito y muestreado.

Un caso muy similar al anterior se presenta en la localidad “C. al Bosque” (Fig. 20), donde el perfil de suelo erosionado está decapitado al presentar sólo un horizonte C, que consta de material original meteorizado, mientras que en el suelo en recuperación se nota un leve aumento de porcentaje de contenido de materia orgánica (Tabla III) por el aporte de la vegetación que se está estableciendo.

En la localidad “Casa en la curva” (Fig. 21), ambos perfiles a comparar cuentan con horizontes A y B, pero se observó que en el perfil erosionado se está perdiendo el suelo, en contraste con el perfil conservado que presenta subdivisiones en los horizontes y una mayor profundidad en el suelo (Perfil 6 y 7, Tabla III, Anexo A).

El Estero de San José es fundamental, tanto para el equilibrio ecológico de esta región, como para la conservación de especies únicas. En este sentido el principal

peligro que amenaza al estero no es sólo la erosión en las partes media y alta de la cuenca, sino el desmedido crecimiento urbano, debido a una falta de ordenamiento del desarrollo del mismo.

Las imágenes analizadas indican que, a la fecha, el crecimiento urbano se ha dirigido hacia el Oeste de la mancha urbana original, lo cual ha afectado de manera más evidente la ribera Oeste del arroyo que descarga en el estero. Sin embargo, se presentó la construcción de la marina, ubicada cerca de la margen oriental del Estero de San José del Cabo. Además se prevé mayor desarrollo de infraestructura turística en la zona. El crecimiento urbano ha provocado fragmentación del hábitat, pérdida de la superficie original protegida, lo cual ya afecta los servicios ambientales del estero debido a la contaminación del agua y la introducción de especies exóticas que compiten con la fauna nativa.

Al comparar la cobertura vegetal del estero entre 2004 y 2017 (Figs. 18 y 19) podría interpretarse como si hubiera mejorado, cuando en realidad la diferencia drástica de vegetación en ambas imágenes se debe a la cercanía de tormentas tropicales y los huracanes Georgette y Frank en 2004, los cuales provocaron el depósito de sedimentos en fechas cercanas a la fecha de la toma de imagen de 2004 usada en este trabajo (SEMAR, 2005). El volumen de sedimentos depositados pone en evidencia la cantidad de material que se moviliza y deposita durante estos eventos, cantidad que se espera que aumente a medida que lo haga la superficie deforestada y en proceso de erosión cuenca arriba.

Al estar sujeto el cuerpo de agua del estero a una dinámica muy variada, no se pudo determinar cuál, de entre todas las amenazas, tiene mayor impacto sobre él. Sin embargo, se percibe que al ir aumentando la erosión, irá aumentando el transporte y depósito de sedimentos al estero durante los fenómenos meteorológicos lo que probablemente cause que la vegetación tarde más en recuperarse tras un evento meteorológico, y por lo tanto la dinámica natural del estero.

De continuar creciendo el área erosionada no solamente se demeritarán las características de los suelos sino también su capacidad como sostén de vida, además de que todo el material erosionado inevitablemente llegará al Estero y lo afectará de manera negativa significativamente.

9. CONCLUSIONES

Esta investigación incluyó laborioso trabajo de campo, de laboratorio y de análisis de imágenes, durante el desarrollo de los cuales se generaron datos de perfiles de suelo en el campo, de análisis físico-químicos de los suelos en el laboratorio, así como una extensa memoria fotográfica del trabajo y se analizaron a detalle imágenes satelitales.

Uno de los resultados más importantes encontrados fue el relativo a la disminución en horizontes, profundidad y, sobre todo, en contenido de materia orgánica, que se evidencian en los análisis tanto de campo como de laboratorio de zonas erosionadas, versus las zonas no erosionadas. Los suelos erosionados aportan lixiviados y material que pierden, y directa o indirectamente llegan al estero, agravando su eutrofización y el depósito de sedimentos que sepultan la vegetación del estero.

Este trabajo describe a detalle los cambios en el uso del suelo de la Cuenca San José, encontrando que los principales problemas que lo amenazan son:

- Excesivo crecimiento urbano en la zona costera
- Crecimiento en infraestructura turística
- Incremento en el depósito de sedimentos debido a la erosión.

Por lo antes expuesto se recomienda lo siguiente:

- Evitar que continúe el crecimiento urbano en la ribera este del arroyo que alimenta al Estero San José.
- Evitar o, en su caso, reglamentar la privatización de más superficie del Área Natural Protegida, según las disposiciones legales y normatividad vigente.
- Evitar la construcción de nuevas marinas en zonas aledañas al estero.
- Establecer programas de reforestación y recuperación de suelos erosionados en la cuenca.

10. LITERATURA CITADA

Alvarado Carmona, M. 2007. Revista Ciencia Ergo Sum. Universidad Autónoma del Estado de México, "La Erosión Hídrica del Suelo en un Contexto Ambiental, en el Estado de Tlaxcala.

Argueta, A. 2009. Características de los suelos y distribución de la erosión actual y potencial en la Cuenca de San José, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Armenta Martínez, L.F. 2015. Propuesta de programa de manejo para la Reserva Ecológica Estero de San José. Tesis de Maestría. CIMACO-UABCS.

Blanco, H., R. Lal. 2008. Principles of soil conservation and management. Germany: Springer Verlag. 620 pp.

Breceda, A., H. Santoyo, J. J. Pérez-Navarro, P. Rojo, 2002. Efecto del huracán "Julieta" en el estero de San José, B.C.S. Selper, Puerto Vallarta, Jalisco.

Breceda, A., P. Galina, P. Cortés. 2007. Taller de dunas costeras y humedales, Baja California Sur, México.

Breceda, A.; Y. Maya; L. Castoreña, G. Martínez, J. Wurl, R. Miranda A. Valdez. 2007. "Manejo Integral de la Cuenca Hidrológica Forestal de San José del Cabo, B.C.S." Informe Técnico CONAFOR-CONACYT (CO1-5671).

Breceda A., P. Galina, B. Bermúdez. 2016. Los sitios Ramsar de Baja California Sur, México: Problemática y Perspectivas. Áreas Naturales Protegidas Scripta 2016. Vol. 2 (2): 127-144.

Brink P., D. Russi, A. Farmer, T. Badura, D. Coates, J. Förster, R. Kumar, N. Davidson. 2013. La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad relativa al agua y los humedales. Resumen ejecutivo.

Burel, F., J. Baudry. 2005. "Habitat quality and connectivity in agricultural landscapes: the role of land use systems at various scales in space and time", Ecological Indicators, nº 5, pp. 305-313.

Cheng, K.L., R. Bray. 1951. Determination of calcium and magnesium in soil and plant material. Soil Sci. 72: 449-458

CONANP-RAMSAR. 2008. Sistema ripario de la cuenca y estero San José del Cabo. Consultado: 01 de junio de 2018. URL: http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMRAR/BajaCalifornia_Sur/EsteroSanJose%C3%A9delCaboRISS2008.pdf.

Coleman, J.D., Croney, D. 1980. Soil thermodynamics applied to the movement of moisture in road foundations. Proc. 7th Cong. Appl. Mech., vol 3, pp. 163-177

de Graaff, J. 1996. The Price of Soil Erosion; an economic evaluation of soil conservation and watershed development. Thesis Landbouwniversiteit Wageningen. ISBN 90-5485-560-6. Wageningen, The Netherlands. 299 pp.

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2005. Disponible en <http://www.millenniumassessment.org>

FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación, 1986. Colección FAO: Agricultura, N° 20. Roma, Italia.

Forman, R.T.T. 1995 Mosaicos terrestres: la ecología de paisajes y regiones Cambridge University Press Gran Bretaña

Gobierno del Estado de Baja California Sur. Boletín Oficial. B.O. 1994. Septiembre. 06. No. 28. Tomo XXI. Consultado el 15 de junio de 2019. <http://secfm.bcs.gob.mx/finanzas/index.php/component/jdownloads/finish/22/927?Itemid=0>

Gobierno del Estado de Baja California Sur. Boletín Oficial. B.O. 2004. Junio. 02. No.35. Tomo XXXI. Consultado el día 15 de junio de 2019. URL: <http://secfm.bcs.gob.mx/finanzas/index.php/component/jdownloads/finish/32/1464?Itemid=0>.

Gobierno del Estado de Baja California Sur. Boletín Oficial. B.O. 2008. Julio. 20. No. 38. Tomo XXXV. Consultado el día 15 de junio de 2019. URL: <http://secfm.bcs.gob.mx/finanzas/index.php/component/jdownloads/finish/36/1790?Itemid=0>

Gobierno del Estado de Baja California Sur. 1998. Decreto Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Estatal “Estero de San José”, versión abreviada. Boletín Oficial del Estado de Baja California Sur, 10 de julio de 1998, tomo XXV, 25: 1-23

Hans, J. 1941. Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology. Ed. Mc. Graw-Hill, USA. 281 p.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 1995. Síntesis geográfica del estado de Baja California Sur. México. 52 pp.

INEGI. 1998. Carta de hidrología superficial de San José del Cabo. F12-23-5-6. Baja California Sur. Escala 1:250,000. México.

INEGI. Cuéntame México, Suelo.

URL: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/suelo.aspx?tema=T>. Consultado el 10 de enero de 2018.

Jackson. M.L. 1958. Soil Chemistry Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 219-222.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf. Consultado el 10 de septiembre de 2017

León de la Luz, J.L., J.J. Pérez Navarro, M. Domínguez, R. Domínguez. 1999. Listados Florísticos de México XVIII: Flora de la Región del Cabo de Baja California Sur. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F

Ley de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente del estado de Baja California Sur, 2010.

March, I. J., Buenfil, J. Ulrich, S., Von Bertab, A., M.T. Núñez, 2013. Herramientas disponibles en línea de utilidad para evaluar los impactos del cambio climático y apoyar el diseño de medidas de adaptación y mitigación. Alianza México Resiliente: áreas protegidas, respuestas naturales al cambio climático. México.

Maya, Y. 1994. Vegetación y suelos. En: H. Santoyo (ed.). Caracterización de la Reserva Ecológica Estatal "Estero de San José del Cabo". Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Maya, Y. 2004. La erosión en la Sierra de la Laguna, Baja California Sur. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México.

Maya, Y. 2011. Diagnóstico ambiental de suelos erosionados. Tropical and Subtropical Agroecosystems 13: 169-179.

Maya, Y., A. Argueta, B. Marín. 2007. Caracterización de los suelos y evaluación de la erosión en la cuenca hidrológico forestal de San José, B.C.S., México. Resumen en extenso. Memorias del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León, Gto., 17-21 septiembre 2007. 959-962.

Mitsch, WJ, Gosselink, JG. 2000. Humedales. John Wiley & Sons, Nueva York. 100-120 pp.

Moreno-Casasola P., B. Warner. Eds. 2009. Breviario para describir, observar y manejar humedales. Serie Costa Sustentable no 1. RAMSAR, Instituto de Ecología

A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Xalapa, Ver. México. 406 pp.

Morgan, RPC. 2005. Soil Erosion and Conservation, 3ra edición. Blackwell Publishing, Oxford. 201 – 213 pp

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002. México, D. F.

Olmos-Martínez, E. 2016, “Opinión pública y percepción sobre la conservación de la Reserva Ecológica Estatal Estero San José del Cabo y su zona de influencia”, en: Revista de Comunicación Vivat Academia. Año XIX N° 135. pp. 24 – 40.

Olmos-Martínez E. R. Ibáñez Pérez, J. Ibarra-Michel. 2018. Sustentabilidad en el área turística Estero San José del Cabo, México. Antropología Cuadernos de Investigación 19: 34-53.

Ortega–Rubio, A., M. J. Pinkus-Rendón., C. Espitia-Moreno (Editores). 2015. Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C., La Paz B. C. S., Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 572 pp.

Papayannis, T., D.E. Pritchard. 2008. ‘Cultura y humedales – Un documento de orientación de Ramsar, Convención de Ramsar, Gland, Suiza. 11 pp. URL: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop10_culture_group_s.pdf

Rangel, L. E. 2015. Caso de estudio: el humedal “La Sabana”, Desarrollo urbano en la zona noroeste de Chetumal, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana.

Ramsar. 2014. Convención Sobre los humedales. Documento informativo Ramsar No° 3: El Plan Estratégico de Ramsar y los “tres pilares” de la Convención. URL: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp-03.pdf> Consultado el 16 de abril de 2017.

Ramsar. 2018. Convención Sobre los humedales. Documento informativo Ramsar No° 10: Humedales esenciales para un futuro urbano sostenible. URL: https://www.ramsar.org/sites/default/files/urbanwetlands_sp.pdf Consultado el 20 de septiembre de 2018.

Rodriguez, R. 2006. Ayuntamiento de Los Cabos, B.C.S. Dirección Municipal de ecología y medio ambiente: Perspectiva municipal de la Reserva ecológica estatal

Estero de San José del Cabo. URL: http://www3.cibnor.mx/investigacion/ramsar/presentaciones/06Jueves/10TomaDecisiones/1030_PresenREERamsar.pdf Consultado el 16 de Marzo de 2017.

Sánchez-Hernández, R., J. Mendoza-Palacios, J.C. De la Cruz Reyes, J. E. Mendoza Martínez, R. Ramos-Reyes. 2013. Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante el uso de sig. Universidad y Ciencia, vol. 29, núm. 2, pp. 153-16. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Villahermosa, México

Santoyo, H., J. Guzmán. 1997. Plan de manejo de La Reserva Ecológica Estatal Estero de San José del Cabo”. UABCS. 61 pp.

Santoyo, H., 2004. Efectos De Los Huracanes “Ignacio Y Marthy”, 2003 En La Reserva Ecológica Estatal Estero De San José, Baja California Sur. Mem. IX Congreso Nacional y III Congreso Internacional de Ciencias Ambientales, 12 al 14 de mayo de 2004 Huatulco, Oaxaca.

Secretaria de Marina. 2005. Direccion General adjunta de oceanografía, hidrografía y meteorología. Ciclones tropicales 2004. URL: http://www.semarn.gob.mx/meteorologia/Huracanes_pacifico/hura_pac_comp.pdf Consultado el día 08 de Diciembre de 2018.

Smith, P., Romero, H. 2009. Efectos del Crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant Andalién, Los Batros y Lengua. Revista de Geografía Norte Grande, 43: 81-93.

Sobrino, J.A., N. Raissouni, Y. Kerr, A. Olioso, M. López-García, A. Belaid, M. El Kharraz, J. Cuenca, L. Dempere. 2000. Teledetección Servicio de Publicaciones Universidad de Valencia, (ISBN 84-370-4220-8), Valencia, España. 115:130

U.S. Geological Survey. Landsat Missions. URL: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con Consultado el 03 de enero de 2017.

Vázquez Miranda, M. 2006. Evaluación de la degradación forestal por extracción de especies maderables en la Cuenca San José del Cabo, B.C.S., México. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Walkley A., Black I.A. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38

Anexo A

DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES

Punto A. Localidad: Caduaño- Poza El Saltito

Ubicación del punto: 23.31824° N -109.840255° O WGS 84
 Prov. Fisiográfica: Península de Baja California
 Subprovincia Fisiográfica: Discontinuidad del Cabo
 Sistema de topofórmulas: Cañada
 Material Parental: Aluvión
 Edad: Joven Relieve: Casi Plano
 Modo de formación: Coluvio- Aluvial
 Pendiente: 10° Exposición: Norte
 Profundidad del Nivel Freático: 100 cm
 Clase de pedregosidad: Excesivamente Pedregoso (15 a 90% del área)
 Clase de afloramientos rocosos: Moderados (expuestos en 10 a 25% del área)
 Clase de drenaje externo: Drenado
 Erosión: hídrica laminar de grado fuerte en 100% del área
 Influencia humana: Moderada
 Factores Nocivos: Sequedad y sobrepastoreo
 Tipo de vegetación: Acuática
 Principales especies: Tule (*Schoenoplectus acutus*) y Carrizo (*Phragmites australis*)

Horizonte: 1

Profundidad: 0 – 10 cm

Textura : Arena

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Suelta

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Color en seco: Café

Color en húmedo: Café grisáceo oscuro

Consistencia de los agregados: No tiene

Adhesividad y plasticidad: Nulas

Esqueleto grava: forma subredondeada en cantidad escasas (5 a 15%)

Esqueleto guijarros: forma subredondeada en cantidad escasas (5 a 15%)

Esqueleto alteración y naturaleza: Poco alterado

Inclusiones: corcholatas

Raíces: No Tiene

Superficie: 15% estiercol

Drenaje interno: Muy drenado

Denominación de horizonte: C1

Denominación del suelo: Fluvisol

Punto B. Localidad: Caduaño Poza El Saltito / ladera

Ubicación del punto: 23.33173° N -109.840330° O WGS 84

Prov. Fisiografica: Península de Baja California

Subprovincia Fisiográfica: Discontinuidad del Cabo

Sistema de topofomas: ladera de cañada

Material Parental: roca plutónica

Pendiente: 45° Exposición: Norte

Clase de pedregosidad: Muy Pedregoso (3 a 15% del área)

Clase de afloramientos rocosos: Muy abundantes (expuestos en 50 a 90% del área)

Clase de drenaje externo: Muy Drenado

Erosión: hídrica laminar de grado moderada en 25% del área

Influencia humana: Moderada

Factores Nocivos: Sequedad y sobrepastoreo

Tipo de vegetación: Selva baja caducifolia

Principales especies: Palo blanco (*Lysiloma divaricatum*), Lomboy (*Jatropha cinérea*), Plumeria (*Plumeria rubra*), Palo Eva (*Chloroleucon mangense*) y Pitaya dulce (*Stenocereus thurberi*)

Horizonte 1

Profundidad: 0- 12 cm

Textura : Franco Arenoso

Separación entre horizontes : Abrupta (<2.5 cm) de forma irregular

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques Subangulares gruesos con desarrollo fuerte

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Color en seco: Café amarillento

Color en húmedo: Café oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Ligeramente dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Friable

Adhesividad y plasticidad: Moderada

Esqueleto gravas: angulares en cantidad frecuentes (5 a %)

Esqueleto alteración y naturaleza: Poco alterado y de roca madre

Raíces: Finas abundantes, Medias abundantes, Gruesas frecuentes

Superficie: Hojarasca, excremento de vaca y chivo

Drenaje interno: Drenado

Denominación del Suelo: Cambisol/ Leptosol

Punto 1. Localidad: Camino a Las Casitas (erosionado)

Ubicación del punto: 23.31935° N -109.70351° O WGS 84

Altitud: 156 m

Prov. Fisiográfica: Península de Baja California

Subprovincia Fisiográfica: Discontinuidad del Cabo

Sistema de topoformas: Bajada con lomerío

Material Parental: Sedimentario

Edad: Madura

Relieve: Fuertemente ondulado Modo de formación: Residual (in situ)

Pendiente: 28° Exposición: Este

Clase de pedregosidad: Sin piedras o muy poco (< 0.01% del área)

Clase de afloramientos rocosos: Dominantes (expuestos en > 90% del área)

Clase de drenaje externo: Muy Drenado

Erosión: Eólica, hídrica laminar, hídrica en surcos e hídrica en cárcavas de grado fuerte en 100% del área

Influencia humana: Alta

Factores Nocivos: Sequedad y sobrepastoreo

Tipo de vegetación: Selva baja caducifolia

Principales especies: Palo Brasil (*Haematoxylum brasiletto*), Lomboy (*Jatropha cinérea*), Palo Eva (*Chloroleucon mangense*), Torote (*Bursera microphylla*), Pitahaya dulce (*Stenocereus thurberi*) y Palo verde (*Parkinsonia aculeata*)

Horizonte 1

Profundidad 0-18 cm

Textura : Arena

Separación entre horizontes : Abrupta (<2.5 cm) de forma plana

Reacción al HCl 10%: Muy fuerte

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques angulares gruesos con desarrollo fuerte

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos) Color en seco: Café muy pálido – Café amarillento claro

Color en húmedo: Café rojizo

Consistencia de los agregados en seco: Dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Friable

Adhesividad y plasticidad: Moderada

Concreciones: de tamaño medio (0.5 a 1cm), forma ovalada, cantidad escasa, blandas, distribuidas de manera dispersa, reacción a HCL muy fuerte, naturaleza CaCO₃ de color blanco

Raíces: Finas frecuentes

Superficie: Erosionada, cúmulos de vegetación reteniendo suelo

Drenaje interno: Moderadamente drenado

Denominación de Horizonte: B21

Horizonte 2

Profundidad 18- 45/66 cm

Textura : Arena

Separación entre horizontes : Clara (2.5 a 6 cm) de forma ondulada

Reacción al HCl 10%: Muy fuerte

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Masiva muy grueso con desarrollo fuerte

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Películas: con distribución discontinuas, espesor delgado y ubicación, en tubos, canales de raíces fisuras o grietas

Color en seco: Gris castaño claro

Color en húmedo: Café rojizo

Consistencia de los agregados en seco: Muy Dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Friable

Adhesividad y plasticidad: Moderada

Cementación: grado débil, discontinua y sin estructura

Concreciones: de tamaño grueso (1 a 2 cm) y muy grueso (2 a 10 cm), forma irregular y dendrítica, cantidad abundante, blandas y duras, distribuidas de manera acumuladas y dispersa, reacción a HCL muy fuerte, naturaleza CaCO_3 de color blanco

Raíces: Finas frecuentes, medias frecuentes

Superficie: Erosionada, cúmulos de vegetación reteniendo suelo

Drenaje interno: Moderadamente drenado

Denominación de Horizonte: B22 Cálculo

Horizonte 3

Profundidad 45/66 - 82 cm

Textura: Arena

Reacción al HCl 10%: Muy fuerte

Humedad aparente: Ligeramente húmedo (punto de marchitez)

Estructura: Masiva muy grueso con desarrollo fuerte

Porosidad: Constitución poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos) Color en seco: Gris claro

Color en húmedo: Café rojizo

Consistencia de los agregados en seco: Extremadamente dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Muy firme

Adhesividad y plasticidad: Ligera

Concreciones: Muy grueso (2 a 10 cm), forma irregular y ovalada, cantidad dominante, duras, distribuidas de manera acumuladas y dispersa, reacción a HCL muy fuerte, naturaleza CaCO_3 de color blanco

Raíces: Finas abundantes, medias escasas, gruesas frecuentes

Superficie: Erosionada, cúmulos de vegetación reteniendo suelo

Drenaje interno: Moderadamente drenado

Denominación de Horizonte: B23k Cálculo

Denominación del Suelo: Calcisol

Punto 2. Localidad: Camino al arroyo La Palma

Ubicación del punto: 23.2611° N -109.71324 ° O WGS 84

Altitud: 154 mts

Prov. Fisiográfica: Península de Baja California

Subprovincia Fisiográfica: Discontinuidad del Cabo

Sistema de topofomas: Lomerío

Material Parental: Sedimentario

Edad: Senil Relieve: Fuertemente ondulado Modo de formación: Residual (in situ)

Pendiente: 30° Exposición: SW

Clase de pedregosidad: Excesivamente pedregoso (15 a 90% del área)

Clase de afloramientos rocosos: Abundantes (expuestos en 25 a 50% del área)

Clase de drenaje externo: Imperfectamente drenado

Erosión: Hídrica laminar, hídrica en surcos e hídrica en cárcavas de grado fuerte en 100% del área

Influencia humana: Alta

Factores Nocivos: Sequedad y sobrepastoreo

Tipo de vegetación: Selva baja caducifolia (relictos)

Principales especies: Palo Adán (*Fouquieria diguetii*), Palo Brea (*Parkinsonia praecox*), Cardón (*Pachycereus pringlei*), Mauto (*Lysiloma divaricatum*), Pitaya dulce (*Stenocereus thurberi*), Choya (*Cylindropuntia fulgida*)

Horizonte 1

Profundidad 0-18 cm

Textura : Arena

Separación entre horizontes : Difuso (>12.5 cm) de forma plana

Reacción al HCl 10%: Muy fuerte

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques subangulares grueso con desarrollo moderado

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Color en seco: Café

Color en húmedo: Café-café oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Ligeramente dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Friable

Adhesividad y plasticidad: Moderada

Concreciones: de tamaño grueso (1 a 2 cm), forma irregular, cantidad escasa, blandas, distribuidas de manera dispersa, reacción a HCL muy fuerte, naturaleza CaCO₃ de color blanco Raíces: Finas abundantes, medias abundantes, gruesas frecuentes

Superficie: Erosionada

Drenaje interno: imperfectamente drenado

Denominación de Horizonte: B2 Cálculo

Denominación del Suelo: Leptosol

Punto 3. Localidad: Camino al arroyo La Palma

Ubicación del punto: 23.26540° N -109.71372 ° O WGS 84

Altitud: 165 m

Prov. Fisiográfica: Península de Baja California

Subprovincia Fisiográfica: Discontinuidad del Cabo

Sistema de topofomas: Lomerío

Material Parental: Sedimentario

Edad: Madura Relieve: Ondulado Modo de formación: Aluvial

Pendiente: 5° Exposición: SW

Clase de pedregosidad: Sin piedras o muy pocas (15 a 90% del área)

Clase de afloramientos rocosos: Nulos (expuestos en <2% del área)

Clase de drenaje externo: Imperfectamente drenado

Erosión: Hídrica laminar de grado leve en 100% del área

Influencia humana: Alta

Factores Nocivos: Sequedad y sobrepastoreo

Tipo de vegetación: Selva baja caducifolia

Principales especies: Palo Adán (*Fouquieria diguetii*), Palo Brea (*Parkinsonia praecox*), Cardón (*Pachycereus pringlei*), Mauto (*Lysiloma divaricatum*), Pitaya dulce (*Stenocereus thurberi*), Choya (*Cylindropuntia fulgida*)

Horizonte 1

Profundidad 0-2 cm

Textura : Arenosa

Separación entre horizontes : Abrupta (<2.5 cm) de forma ondulada

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad

Estructura: Bloques subangulares muy finos con desarrollo débil

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Color en seco: Café grisáceo oscuro

Color en húmedo: Café muy oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Blanda

Consistencia de los agregados en húmedo: Muy friable

Adhesividad y plasticidad: Nula

Esqueleto gravas: Subredondeadas en cantidad Abundantes (40 a 80 %)

Esqueleto alteración y naturaleza: Sílice sanas

Superficie: Hojarasca

Drenaje interno: imperfectamente drenado

Superficie: Hojarasca

Drenaje interno: imperfectamente drenado

Denominación de Horizonte: O

Horizonte 2

Profundidad 2-10/23 cm

Textura : Areno arcillosa

Separación entre horizontes : Gradual (6 a 12.5 cm) de forma irregular

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques subangulares muy gruesos con desarrollo fuerte

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Facetas de fricción/presión: muy pocas en clásticas
 Color en seco: Café-café oscuro
 Color en húmedo: Café oscuro
 Consistencia de los agregados en seco: Muy firme
 Consistencia de los agregados en húmedo: Muy friable
 Adhesividad y plasticidad: Moderada
 Esqueleto gravas: Subredondeadas y subangulares en cantidad frecuentes (15 a 40 %)
 Esqueleto alteración y naturaleza: Sílice sanas
 Raíces: Finas abundantes, medias frecuentes, gruesas escasas
 Superficie: Hojarasca
 Drenaje interno: imperfectamente drenado
 Denominación de Horizonte: A

Horizonte 3

Profundidad 10/23-42 cm
 Textura : MRA
 Separación entre horizontes : Gradual (6 a 12.5 cm) de forma plana
 Reacción al HCl 10%: Nula
 Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)
 Estructura: Bloques angulares muy gruesos con desarrollo fuerte
 Porosidad: Constitución poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)
 Facetas de fricción/presión: abundantes
 Color en seco: Café rojizo oscuro
 Color en húmedo: Café rojizo oscuro
 Consistencia de los agregados en seco: Extremadamente dura
 Consistencia de los agregados en húmedo: Muy friable
 Adhesividad y plasticidad: Moderada
 Esqueleto gravas: Subredondeadas y subangulares en cantidad abundantes(40 a 80%)
 Raíces: Finas escasas, medias frecuentes
 Superficie: Hojarasca
 Drenaje interno: imperfectamente drenado
 Denominación de Horizonte: B

Horizonte 4

Profundidad 42-54cm
 Textura : MRA
 Reacción al HCl 10%: Nula
 Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)
 Estructura: Bloques angulares muy gruesos con desarrollo fuerte
 Porosidad: Constitución poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)
 Facetas de fricción/presión: abundantes
 Color en seco: Gris oliváceo oscuro
 Color en húmedo: Café rojizo oscuro
 Consistencia de los agregados en seco: Extremadamente dura
 Consistencia de los agregados en húmedo: Friable Adhesividad y plasticidad: Moderada
 Esqueleto gravas: Subredondeadas y subangulares en cantidad dominantes (>80 %)
 Esqueleto guijarros: Angulares en cantidad frecuentes (40 a 80%)
 Esqueleto alteración y naturaleza: Sílice sanas

Punto 4. Localidad: Camino al Bosque / meseta de recuperación

Ubicación del punto: 23.332796° N -109.623047 ° O WGS 84

Prov. Fisiográfica: Península de Baja California

Subprovincia Fisiográfica: Discontinuidad del Cabo

Sistema de topofomas: Meseta

Material Parental: Arenal

Edad: Rejuvenecimiento Relieve: Casi Plano

Modo de formación: Residual (in situ)

Pendiente: 3 a 5° Exposición: Oeste

Clase de pedregosidad: Sin piedras o muy pocas (<0.01% del área)

Clase de afloramientos rocosos: Nulos (expuestos en < 2% del área)

Clase de drenaje externo: Escasamente drenado

Erosión: Hídrica laminar y en surcos de grado escasa en 50% del área

Influencia humana: Escasa

Factores Nocivos: Sequedad y sobrepastoreo

Tipo de vegetación: Selva baja caducifolia

Principales especies: Palo eua (*Chloroleucon mangense*), cacachila (*Rhamnus humboldtiana*),

Torote (*Bursera microphylla*), pithaya (*Stenocereus thurberi*), palo amarillo (*Esenbeckia flava*),

uña de gato (*Dolichandra unguis-cati*), cardon (*Pachycereus pringlei*)

Horizonte: 1

Profundidad cm: 0 - 18/23

Textura : Arena

Separación entre horizontes : Clara (2.5 a 6 cm) de forma irregular

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques subangulares medio con desarrollo débil

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Color en seco: Café muy pálido

Color en húmedo: Café-café oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Blanda

Consistencia de los agregados en húmedo: Friable

Adhesividad y plasticidad: Nula

Esqueleto gravas: Subredondeadas y subangulares en cantidad escasas (de 5 a 15 %)

Esqueleto alteración y naturaleza: Cuarzo sano

Raíces: Finas abundantes, medias escasas, gruesas escasas

Denominación de Horizonte: A1

Horizonte: 2
Profundidad 18/23 - 57 cm
Textura : Franco Arenoso
Separación entre horizontes : Clara (2.5 a 6 cm) de forma ondulada
Reacción al HCl 10%: Nula
Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)
Estructura: Bloques subangulares medio con desarrollo moderado
Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)
Color en seco: Café amarillento claro
Color en húmedo: Café amarillento oscuro
Consistencia de los agregados en seco: Ligeramente dura
Consistencia de los agregados en húmedo: Friable
Adhesividad: Ligera
Plasticidad: Nula
Esqueleto gravas: Subredondeadas, muy escasas (< 5%)
Esqueleto alteración y naturaleza: Cuarzo sano
Raíces: Finas abundantes, medias escasas, gruesas escasas
Superficie: Mucha hojarasca
Drenaje interno: Drenado
Denominación de Horizonte: B21

Horizonte: 3
Profundidad 57- 80 cm
Textura : Arena
Reacción al HCl 10%: Nula
Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)
Estructura: Bloques angulares de tamaño medio con desarrollo moderado
Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)
Color en seco: Café claro
Color en húmedo: Café-café oscuro
Consistencia de los agregados en seco: Muy dura
Consistencia de los agregados en húmedo: Friable
Adhesividad: Nula
Plasticidad: Nula
Esqueleto gravas: Subangulares, en cantidades escasas (de 5 a 15 %)
Esqueleto alteración y naturaleza: Cuarzo sano
Raíces: Finas escasas, medias escasas, gruesas escasas
Denominación de Horizonte: B21
Superficie: Mucha hojarasca
Drenaje interno: Drenado

Denominación del Suelo: Cambisol

Punto 5. Localidad: Camino al Bosque (erosión)

Ubicación del punto: 23.333557° N -109.625700 ° O WGS 84

Altitud:

Prov. Fisiográfica: Península de Baja California

Subprovincia Fisiográfica: Discontinuidad del Cabo

Sistema de topofomas: Meseta

Material Parental: Arenal

Edad: Madura Relieve: Ondulado Modo de formación: Residual

Pendiente: 25° Exposición: Oeste

Clase de pedregosidad: Moderadamente pedregosa (0.01 a 0.1% del área)

Clase de afloramientos rocosos: Moderados (expuestos en 15 a 25% del área)

Clase de drenaje externo: Muy drenado

Erosión: Hídrica laminar, hídrica en surcos e hídrica en cárcavas de grado fuerte en 90% del área

Influencia humana: Alta

Factores Nocivos: Sequedad y sobrepastoreo

Tipo de vegetación: Selva baja caducifolia

Principales especies: Mauto (*Lysiloma divaricatum*), Palo eua (*Chloroleucon mangense*), Palo Adán (*Fouquieria diguetii*), Cardón (*Pachycereus pringlei*), Pitaya dulce (*Stenocereus thurberi*), Bursera (*Bursera microphylla*), Datilillo (*Yucca valida*)

Horizonte 1

Profundidad 0-15 cm

Textura: Franco Arenosa

Separación entre horizontes: Abrupta (<2.5 cm) de forma irregular

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques subangulares muy gruesos con desarrollo moderado

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Color en seco: Café claro

Color en húmedo: Café oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Ligeramente dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Muy friable

Adhesividad y plasticidad: Nula

Esqueleto gravas: Angulares en cantidad Frecuentes (15 a 40%)

Esqueleto alteración y naturaleza: Cuarzo sano

Denominación de Horizonte:C1

Horizonte 2

Denominación del Horizonte: Roca

Drenaje interno: imperfectamente drenado

Superficie: Costras Biológicas

Denominación del suelo: Leptosol lítico

Punto 6. Localidad: Casa en la curva

Ubicación del punto: 23.242735° N -109.723501° O WGS 84

Altitud: 180 m

Prov. Fisiográfica: Península de Baja California

Subprovincia Fisiográfica: Discontinuidad del abo

Sistema de topoformas: Lomerío

Material Parental: Roca Ígnea (intemperismo)

Edad: Madura Relieve: Ondulado Modo de formación: Residual (in situ)

Pendiente: 30 -40° Exposición: Oeste

Clase de pedregosidad: Totalmente pedregoso (> 90% del área)

Clase de afloramientos rocosos: Dominantes (expuestos en > 90% del área)

Clase de drenaje externo: Muy drenado y excesivamente drenado

Erosión: Hídrica laminar, en surcos y en cárcavas de grado fuerte en 100% del área

Influencia humana: Alta

Factores Nocivos: Sequedad y sobrepastoreo

Tipo de vegetación: Selva baja caducifolia transición de matorral

Principales especies: Mauto (*Lysiloma divaricatum*), Palo Adán (*Fouquieria diguetii*), Pitaya dulce (*Stenocereus thurberi*), Palo Verde (*Parkinsonia florida*)

Horizonte 1

Profundidad 0-26/30 cm

Textura : Franco arenosa

Separación entre horizontes : Clara (2.5 a 6 cm) de forma ondulada

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques angulares medios y gruesos con desarrollo fuerte

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Color en seco: Café amarillento

Color en húmedo: Café amarillento oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Extremadamente dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Muy friable

Adhesividad: Ligera

Plasticidad: Moderada

Esqueleto gravas: Redondeadas en cantidad Abundantes (> 80 % del volumen)

Esqueleto alteración y naturaleza: Cuarzo lechoso, fragmentos de roca intemperizada

Raíces: Finas frecuentes, Medias escasas, Gruesas frecuentes

Denominación de Horizonte: A1 Ócrico

Horizonte 2

Profundidad 26/30 – 46 cm

Textura : Franco Limosa

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques angulares muy gruesos con desarrollo fuerte

Color en seco: Café amarillento

Color en húmedo: Café amarillento oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Extremadamente dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Friable

Adhesividad: Fuerte

Plasticidad: Fuerte

Denominación de Horizonte: B2 Cámbico

Horizonte 3

Denominación del Horizonte: Roca

Superficie: Costras Biológicas rugosas (líquenes costrosos)

Denominación del suelo: Cambisol

Punto 7. Localidad: Casa en la curva

Ubicación del punto: 23.239290° N -109.726358° O WGS 84

Altitud: 186 m

Prov. Fisiográfica: Península de Baja California

Subprovincia Fisiográfica: Discontinuidad del Cabo

Sistema de topoformas: Llanura

Material Parental: Granito

Edad: Madura Relieve: Casi Plano Modo de formación: Residual (in situ)

Pendiente: 3% Exposición: Oeste

Clase de pedregosidad: Sin piedras o muy pocas (<0.01% del área)

Clase de afloramientos rocosos: Nulos (expuestos < 2% del área)

Clase de drenaje externo: imperfectamente drenado

Erosión: Hídrica laminar de grado leve en 25% del área

Influencia humana: Moderada

Factores Nocivos: Sequedad y sobrepastoreo

Tipo de vegetación: Selva baja caducifolia

Principales especies: Palo de arco (*Handroanthus serratifoliu*), Palo Adán (*Fouquieria diguetii*), Lombay (*Jatropha cinérea*), Cardón (*Pachycereus pringlei*), Cacachila (*Rhamnus humboldtiana*)

Horizonte 1

Profundidad 0-18 cm

Textura : Franco limoso

Separación entre horizontes : Abrupta (<2.5 cm) de forma irregular

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques subangulares gruesos con desarrollo débil

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Color en seco: Café pálido

Color en húmedo: Café amarillento oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Blanda

Consistencia de los agregados en húmedo: Muy friable

Adhesividad: Ligera

Plasticidad: Nula

Esqueleto gravas: Redondeadas y muy escasas (< 5 % del volumen)

Esqueleto alteración y naturaleza: Cuarzo

Raíces: Finas abundantes

Denominación de Horizonte: A11 Ócrico

Horizonte 2

Profundidad 18- 28/36 cm

Textura : Franco limoso

Separación: abrupta y ondulada

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Porosidad: Constitución poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos) Color en seco: Café amarillento claro

Color en húmedo: Café oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Muy dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Friable

Adhesividad: Nula

Plasticidad: Nula

Esqueleto gravas: Redondeadas y frecuentes (15 a 40% del volumen)

Esqueleto alteración y naturaleza: Cuarzo

Raíces: Finas abundantes

Denominación de Horizonte: A12 Ócrico.

Horizonte 3

Profundidad: 28/36 - 51/61 cm

Textura : Marga limosa

Separación: Gradual (de 6 a 12 cm) y ondulada

Reacción al HCl 10%: Nula

Humedad aparente: Seco (coeficiente de higroscopicidad)

Estructura: Bloques subangulares gruesos con desarrollo moderado

Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)

Color en seco: Café amarillento

Color en húmedo: Café amarillento oscuro

Consistencia de los agregados en seco: Dura

Consistencia de los agregados en húmedo: Muy Friable

Adhesividad: Nula

Plasticidad: Ligera

Esqueleto gravas: Redondeadas y angulares en cantidad frecuentes (15 a 40% del volumen)

Esqueleto alteración y naturaleza: Cuarzo

Raíces: Finas abundantes, Medias frecuentes, Gruesas frecuentes

Denominación de Horizonte: B21 Cámbico

Horizonte 4
Profundidad: 51/61 - 80 cm
Textura: Arena
Reacción al HCl 10%: Nula
Estructura: Bloques subangulares medios con desarrollo moderado
Porosidad: poroso fino <1 a 3 mm en cantidad abundante (cada 0.5 cm o menos)
Color en seco: Café amarillento
Color en húmedo: Café amarillento oscuro
Consistencia de los agregados en seco: Ligeramente dura
Consistencia de los agregados en húmedo: Muy Friable
Adhesividad: Nula
Plasticidad: Nula
Esqueleto gravas: Redondeadas y angulares abundantes (40 a 80% del volumen)
Esqueleto alteración y naturaleza: Cuarzo
Raíces: Finas abundantes, Medias frecuentes, Gruesas escasas
Denominación de Horizonte: B22 Cámbico
Superficie: Hojarasca
Inclusiones: Caracoles, milpiés, araña, huevos de lagartija

Denominación del suelo: Cambisol