

Evaluación de indicadores de vulnerabilidad para localizar áreas de sedimentos en tres subcuencas de Chiapas, México

Vulnerability Indicators Assessment to Locate Areas of Sediments in Three Sub-Basins of Chiapas, Mexico

Cervando Castillo Romano¹ Jorge Brena Zepeda² Perla Alonso Eguía-Lis³ Ana Wagner Gómez⁴

Para citar este artículo: Castillo, C., Brena, J., Alonso, P. y Wagner, A. (2017). Evaluación de indicadores de vulnerabilidad para localizar áreas de sedimentos en tres subcuencas de Chiapas, México. *UD y la Geomática*, 12, 22-29.

Fecha de recepción: 01 de septiembre de 2017

Fecha de aceptación: 01 de diciembre de 2017

RESUMEN

Para cuantificar la alteración ecológica en las subcuencas se evaluaron ocho indicadores de vulnerabilidad; cada subcuenca se dividió en parte alta, media, baja y zona de humedales, que en total son doce regiones. Los indicadores evaluados son los siguientes: cambio de cobertura vegetal y uso de suelo (1986 y 2010); número de poblaciones y densidad de la población; erosión potencial del área estudiada; cambios provocados por la acción humana en la hidrografía; evaluación de la condición de la vegetación riparia; calidad del sistema acuático a partir de bioindicadores (tipo de comunidad de invertebrados); condición de la fauna considerando fauna potencial vs fauna observada y sedimentación en zona de humedales. Los resultados del estudio muestran que la sedimentación en la zona de humedales en las tres subcuencas presenta la máxima alteración de acuerdo con la escala utilizada, lo que indica una alta depositación de sedimentos en los humedales producto del deterioro ecológico evaluados por los índices de vulnerabilidad. En general la parte alta, media y baja presentan un deterioro moderado y, en menor proporción, se observan zonas con alto deterioro.

Palabras clave: humedales, sedimentación, vulnerabilidad.

ABSTRACT

To realize this study each sub-basin was divided in four zones: upper, medium, low and wetland zone. That is, a total of 12 regions were under study. Then, eight indicators of vulnerability were evaluated to quantify the ecological disturbance in the sub-basins as follows: Vegetation cover and land use changes (1986 and 2010) Number of human settlements and population density Potential erosion in the study area Hydrography changes caused by human activities Riparian vegetation assessment Water quality from bio-indicators (type of invertebrate communities) Fauna condition considering potential wildlife vs. observed wildlife Wetlands area sedimentation Study results shows that sedimentation in the wetland area in the three sub-basins has the highest alteration according to the scale used, indicating high sediment deposition in wetlands ecological degradation product evaluated by indices of vulnerability. In general the upper, middle and lower part show moderate deterioration, and to a lesser extent areas with high deterioration are observed.

Key words: sedimentation, vulnerability, wetlands.

1 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Correo electrónico: cervando@tlaloc.imta.mx

2 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Correo electrónico: jbrena@tlaloc.imta.mx

3 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Correo electrónico: palonso@tlaloc.imta.mx

4 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Correo electrónico: awagner@tlaloc.imta.mx

1 Introducción

Existen varias definiciones para humedal debido a la gran variedad o tipos de humedales que existen, los hay costeros y también dentro del territorio continental; incluyen desde las lagunas costeras someras con pastizales marinos, marismas y oasis en los desiertos, manglares y petenes, humedales herbáceos de agua dulce (popales, tulares, carrizales, vegetación flotante y sumergida), palmares y selvas inundables (Moreno-Casasola y Warner, 2009). Su importancia se centra en que son grandes prestadores de servicios ambientales en beneficio del ser humano; por lo tanto, su alteración o daño repercute en los ecosistemas y causa el empobrecimiento de los beneficios que se reciben de él. Los servicios ambientales son aquellas condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que lo forman, mantienen y satisfacen la vida del ser humano (Daily, 1997).

Actualmente, en los humedales de las subcuencas de los ríos Huixtla, Despoblado y Laguna del Viejo y Tembladeras, estado de Chiapas, México (sureste), se ha incrementado la alteración de la vegetación natural por acciones antrópicas llevadas a cabo en las tres subcuencas, esto ha repercutido en el incremento de sedimentos que, finalmente, son depositados en el área donde están asentados los humedales; sumado a lo anterior, la zona de humedales también está siendo transformada por la acción del hombre, en este caso la actividad agrícola y en menor grado la ganadería están ocupando áreas que, años atrás, eran solo de vegetación natural, destruyendo el hábitat de la vida silvestre y transformando el uso del suelo. Otra acción antrópica que está influyendo para incrementar la presencia de sedimentos es la modificación de la hidrografía natural de los ríos en la parte baja de las tres subcuencas, el cauce natural de los ríos ha sido transformado en una red de canales y drenes que desfogan casi en su totalidad en la zona de humedales, dando las condiciones para acelerar el proceso de sedimentación. A lo anterior se suma que actualmente han desaparecido los meandros, como es sabido los meandros se forman por procesos naturales y cumplen diferentes funciones, una de ellas es reducir la velocidad del agua y lograr la estabilidad de la circulación.

Otra variable que influye es el incremento de la densidad de población y el número de poblaciones en las subcuencas, la cual se considera como un componente que ejerce presión para el cambio de la vegetación y de uso del suelo.

Este trabajo tiene dos objetivos concretos: uno es determinar el estado de salud de las subcuencas a partir de evaluar el nivel de alteración que ha sufrido su estado natural, esto se logra evaluando ocho variables que, de acuerdo con la metodología propuesta, arrojan un valor cuantitativo que mide el nivel de alteración; el otro objetivo es ubicar, espacialmente en la zona de humedales, los puntos principales de descarga de sedimentos que provienen de aguas arriba y ubicar su distribución cercana a estos

puntos, estas áreas son las más vulnerables del humedal porque son transformadas en zonas agrícolas, generalmente de temporal permanente. En ambos objetivos se aplican técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica como herramientas para el manejo y análisis de los datos geográficos.

2 Metodología

La metodología propuesta para evaluar en estado de alteración de una cuenca a partir de indicadores de vulnerabilidad nace de la experiencia obtenida en trabajos anteriores llevados a cabo en cuencas y zonas de humedales, además, se complementa con otras metodologías que se han aplicado en estudios de cuencas hidrográficas. Para obtener los valores cuantitativos de evaluación se retoma parcialmente la propuesta llamada tarjetas de evaluación de cuencas hidrográficas (Imbach, 2006), que es una herramienta para comparar diferentes estados o condiciones de alteración de dos o más cuencas hidrográficas.

Los indicadores de vulnerabilidad evaluados en las subcuencas son los siguientes: cambio de cobertura vegetal y uso de suelo (1986 y 2010); número de poblaciones y densidad de la población; erosión potencial del área estudiada; cambios provocados por la acción humana en la hidrografía; evaluación de la condición de la vegetación riparia; calidad del sistema acuático a partir de bioindicadores (tipo de comunidad de invertebrados) y condición de la fauna considerando fauna potencial versus fauna observada.

División de las subcuencas

Para tener un análisis detallado del nivel de alteración en las subcuencas se dividieron en parte alta, media, baja y zona de humedales; a fin de lograr la división se aplicaron cuatro criterios que están circunscritos a las condiciones intrínsecas de una cuenca: drenaje superficial, uso del suelo y vegetación, altitud y clima. La Figura 1 muestra el resultado, el área de estudio queda dividida en doce zonas.

Análisis de indicadores

Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo (1986-2010)

El cambio de uso del suelo y vegetación en las subcuencas se llevó a cabo a partir de un análisis temporal con diferencia de veinticuatro años; para lograrlo se utilizaron imágenes de satélite Landsat Tm tomadas en 1986 y SPOT 5 de 2010. En la interpretación se conjugaron dos técnicas: procesamiento digital automático y la interpretación visual, ambas apoyadas en datos obtenidos en cuatro

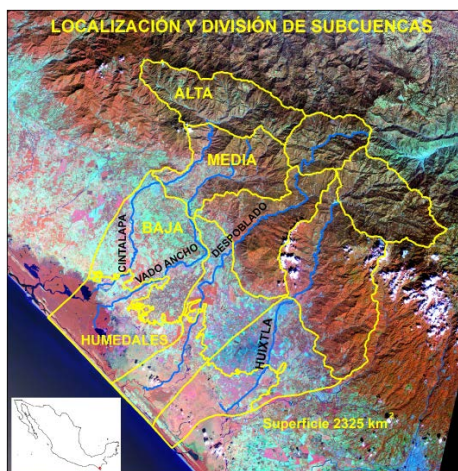


Figura 1. Localización del área de estudio y división de las subcuencas en doce zonas

Fuente: elaboración propia.

campañas de campo; además, se hizo una recopilación de datos geográficos e información en general que está referida a las condiciones que existieron de 1986 a 2010 en el área de estudio. Como resultado se obtuvieron dos mapas con veinticuatro clases identificadas, en ambos mapas las clases identificadas son las mismas. La escala utilizada para la representación de los mapas fue de 1:50000 parte alta, media y baja, para la zona de humedales fue 1:20000.

Número de poblaciones y densidad de la población

Los datos utilizados se obtuvieron del censo de población y vivienda 2010 para el estado de Chiapas que publicó el instituto nacional de estadística geografía e informática (INEGI) en 2011; como se mencionó, la densidad de población y el número de asentamientos en un área determinada, en este caso en cada una de las doce zonas, es un agente de presión sobre los recursos naturales porque se recurre a su explotación como medio para su alimentación y subsistencia.

Erosión potencial del área estudiada

Para delimitar espacialmente la erosión potencial se aplicó la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE, por sus siglas en inglés) adaptada para México (Cortés, 1991; Becerra, 2005), la cual está compuesta por seis variables que se expresan numéricamente: $A = R * K * LS * C * P$. Erosividad de la lluvia (R), erosividad del suelo (K), topografía y grado de pendiente (LS), cultivos y vegetación (C) y por último prácticas mecánicas de conservación (P). Cada una influye en la pérdida de suelo que al multiplicarlas entre sí

proporciona un valor cuantitativo que representa la pérdida potencial del suelo en una unidad de superficie durante un periodo de tiempo que en este caso es un año (ton/ha año).

El resultado que se obtuvo muestra que en el 90% de la superficie de las tres subcuencas en su parte alta y media presentan erosión potencial alta y muy alta, 50-200 y >200 ton/ha año, respectivamente; la parte baja, aunque no se calculó en toda el área, va de ligera a moderada, 5-10 y 10-50 ton/ha año, respectivamente, esto se explica porque la pendiente del terrenos en promedio es menor a 10°. La escala para cuantificar el nivel de erosión y las constantes para la erosividad del suelo es la propuesta por la FAO/UNESCO (1980).

Cambios provocados por la acción humana en la hidrografía

El cauce de los ríos en la parte baja de las subcuencas ha sido modificado para favorecer el desarrollo de la agricultura de temporal permanente y la de periodo anual; los cauces han sido rectificados para convertirlos en canales con bordos de protección para evitar su desbordamiento, estos cambios han provocado cambios radicales en la hidrografía pues ahora el comportamiento de los ríos es analizado desde una perspectiva hidráulica; los ríos han perdido su capacidad de autorregulación para mantener su equilibrio, las partículas de sedimentos adquieren una nueva dinámica que favorece su transporte principalmente por la fuerza del caudal que toman las corrientes. Los cuatro ríos principales en las subcuencas no desembocan directamente al mar, lo hacen en la zona de humedales, en consecuencia la zona de humedales es la receptora directa de las descargas de sedimentos.

Evaluación de la condición de la vegetación riparia

La vegetación que se encuentra junto a un cuerpo de agua o que está influenciada por el agua es la vegetación riparia, se caracterizan por presentar una amplia biodiversidad tanto de flora como de fauna y son protectores de la calidad del agua, para nuestro caso, es de suma importancia la presencia de esta vegetación porque una de sus funciones es retardar y reducir el flujo de la corriente superficial utilizando el conjunto de nutrientes que se quedan atrapados o retenidos en ella y en su entorno, esto impacta en el transporte de sedimentos porque son retenidos o retardan su transporte. La presencia de esta vegetación en el estudio de cambio de cobertura vegetal de 1986 y 2010, arroja que la presencia en superficie de esta vegetación no presenta variación significativa aunque la distribución espacial sí varía, la superficie en ambas evaluaciones es de 700 ha aproximadamente, muy pocos en comparación a la magnitud de la red hidrográfica que existe en las subcuencas.

Una limitante que puede presentarse para identificar la vegetación riparia es que se utilizaron imágenes de satélite de baja resolución (1986) y de mediana resolución para 2010, por lo que fácilmente se puede confundir con otro tipo de vegetación. En las vistas de campo que trataron de cubrir la mayor extensión de superficie, tampoco se encontraron zonas extensas de este bosque, más bien solo fueron pequeños manchones.

Calidad del sistema acuático a partir de bioindicadores (tipo de comunidad de invertebrados)

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos mayores a 0.5mm, el tipo y abundancia son indicadores de las condiciones ecológicas del sistema. El análisis de la comunidad de macroinvertebrados en la parte baja de las tres subcuencas mostró una simplificación de la comunidad debido a la pérdida de hábitat, ya que el cauce y sus diferentes hidroambientes quedaron completamente sedimentados por arena proveniente de la cuenca alta, mientras que en la zona alta y media de la cuenca la diversidad de ambientes como los cantos rodados, los rápidos, la vegetación sumergida y la menor temperatura muestran una fauna macroinvertebrada mucho más rica y diversa.

Condición de la fauna considerando fauna potencial versus fauna observada

La presencia de fauna terrestre en un ecosistema asociado a los humedales es un indicador de la condición de bienestar o deterioro del humedal; la fauna terrestre asociada a las partes bajas de las subcuencas ha sido impactada si se compara con la información de los programas de manejo de las áreas naturales protegidas de influencia en la zona

(Semarnap, 1998, 1999), quedando tan solo alrededor del 20% de la fauna esperada y aumentando la presencia de especies comunes.

Obtención de valores cuantitativos de los indicadores

Los resultados obtenidos para cada indicador se presentan de diferentes maneras, por ejemplo, las poblaciones están representadas por un conjunto de puntos geográficos, cada uno contiene una tabla de datos compuesta de diferentes variables que definen una propiedad o característica de la población; otros son cuantificables por estar representados por un área donde una especie particular de vegetación está presente; asimismo, el área puede representar un cuerpo de agua o un tipo de suelo con propiedades determinadas. La alteración de la red hidrográfica se presenta como los cambios espaciales de posición geográfica de un estado formado por la naturaleza a una condición resultante de una acción antrópica que se caracteriza por ser una red de canales y drenes interconectados; la pérdida de suelo arroja resultados concretos y perfectamente medibles de acuerdo con la escala utilizada.

El siguiente paso de la metodología es asignar a cada variable de los indicadores evaluados un valor cuantitativo para obtener un valor final que indique el nivel de deterioro del indicador en la subcuenca, esto se logra reuniendo el mayor número de expertos que conocen la problemática del área de estudio, tanto los que participan en el estudio como de invitados que son expertos en los tópicos evaluados; la escala utilizada asigna valores de uno a cinco, siendo en valor uno cuando el impacto es nulo; se asume que este valor es un indicador que nos dice que no ha existido alteración. En la Tabla 1 se muestra la evaluación de los indicadores para la parte alta de la subcuenca del río Huixtla; en esta tabla el indicador cambio de cobertura vegetal y suelo, la variable bosque de pino se califica con valor de tres porque los cambios de la superficie de 1986 a 2010 se ha alterado parcialmente, el bosque ha dejado de tener la densidad que tenía.

El indicador erosión potencial se calificó con cinco porque se presenta erosión potencial > 200 ton/ha años, es decir, el suelo presenta la máxima vulnerabilidad para perderse; el indicador cambio en la hidrografía se califica con un valor de dos porque prácticamente no está alterado, solo ha perdido la presencia de bosque de galería; la vegetación riparia prácticamente no existe por lo que su indicador se califica con un valor de cinco. Con respecto a poblaciones y densidad de población se califica con valor de tres porque la presencia de las comunidades está transformando la vegetación y el uso del suelo; el bioindicador de calidad del agua y el faunístico con nula y poca alteración.

En la Tabla 1 se muestran todos los indicadores evaluados y su calificación por parte de los expertos y de los participantes en el proyecto; en esencia, el valor que

cuantifica el nivel de deterioro es el índice de vulnerabilidad de alteración ecológica (IVAE) que es el promedio de los valores de alteración de las variables; en este caso no existe el indicador de sedimentación porque este solo se avalúa en la zona de humedales. La representación gráfica del IVAE se muestra en la Figura 2, es una gráfica radial, donde los indicadores de erosionabilidad y bosque ripario presenta en máximo deterioro (valor 5); en contraste el bioindicador de calidad del agua tiene un valor de uno, no presenta alteración tiene una buena calidad del agua.

Este ejercicio se repite para cada una de las doce regiones en que se dividió el área de estudio, es resultado se presenta en la Figura 3.

Para satisfacer el otro objetivo del trabajo, se ubican espacialmente en los humedales las áreas más afectadas por la descarga de sedimentos; para lograrlo se utilizaron imágenes de satélite de alta resolución. En primer lugar se ubicaron diez puntos de descarga distribuidos en la zona de humedales de las subcuencas haciendo una interpretación visual de las imágenes; cuatro puntos fueron los ríos principales y el resto se fijaron en canales y drenes que descargan en los humedales. En la Figura 4 se muestran los diez puntos de descarga de sedimentos y se presenta una

imagen de alta resolución del punto dos donde se observa el área donde se deposita.

Una vez que se ubicaron los puntos de descarga y se identificó visualmente el área de influencia inmediata a los puntos, se procedió a ubicar espacialmente las zonas de depósito. Las zonas inmediatas son más visibles en las imágenes de satélite por la concentración y el volumen que se acumula, por lo tanto presentan una respuesta espectral característica de los suelos con vegetación escasa o de suelo sin vegetación; cuando los sedimentos son transportados hacia partes más bajas, generalmente se dispersan en el humedal entre la espesa vegetación, lo que hace poco probable que sean identificados aplicando técnicas de sensores remotos. Para identificar las zonas se utilizaron imágenes tomadas en 2010 en la temporada de estiaje, se aplicaron clasificadores supervisados para identificar el área con presencia de sedimentos, los resultados de los clasificadores se fueron ajustando de acuerdo con los datos de campo que se habían colectado en las campañas de visita al humedal que fue en temporada de estiaje porque es cuando la zona es transitable por tierra. En la Figura 5 se muestra el área delimitada con sedimentos superficiales acumulados cubriendo una superficie de 38 km².

Tabla 1. Evaluación de las variables de los indicadores de la parte alta de la subcuenca del río Huixtla

Subcuenca Río Huixtla (parte alta)			
Cambio de cobertura vegetal y suelo			
Tipo de vegetación	1986 (ha)	2010 (ha)	Alteración
Bosque mesófilo de montaña	1151	611.41	3
Bosque de pino	1943	901	3
Pastizal inducido	915	1962	3
Suelo desnudo	0	18	2
Cafetales	1744	3870	3
Agricultura	4839	3295	3
IVAE (Promedio)			3
Poblaciones y densidad de población			
No. de habitantes	No. poblaciones	Alteración	
1-50	27	3	
51-100	12		
101-200	18		
201-300	8		
301-500	9		
501-1000	5		
>1000	0		
Total= 12,863	79		
IVAE (Promedio)			3
Erosión potencial			
Ton/ha año	Hectáreas	Porcentaje del total	Alteración
Muy alta (>200)	19,348	84%	5
IVAE (Promedio)			5
Cambios en la hidrografía			
Cambios	Clasificación	Alteración	
Alteración hidráulica	Casi nula	1	
Calidad del agua	Muy buena	1	
Extracción de material pétreo	Nulo	1	
Bosque de galería	Vestigios	5	
IVAE (promedio)			2
Vegetación riparia			
Área riparia	Clasificación	Alteración	
Zonas arboladas	Casi nula	5	
IVAE (promedio)			5
Bioindicadores de calidad del agua			
Invertebrados	Clasificación	Alteración	
	Muy buena	1	
IVAE (promedio)			1
Indicadores faunísticas			
Fauna	Clasificación	Alteración	
Acuática bentónica	Muy buena	1	
mamíferos y reptiles)			
IVAE (promedio)			2

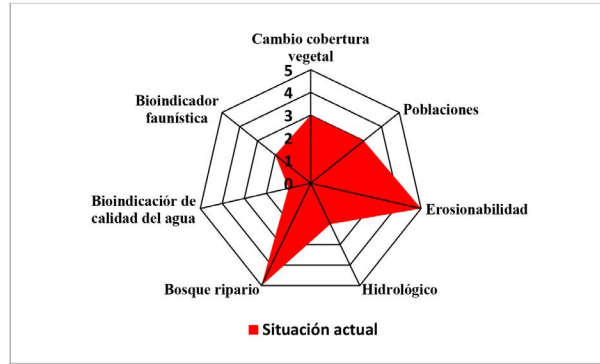


Figura 2. Representación gráfica del IVAE

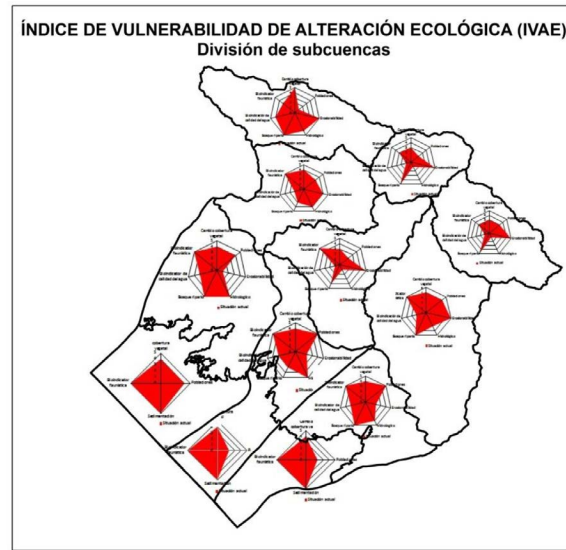


Figura 3. IVAE para las doce regiones del área de estudio

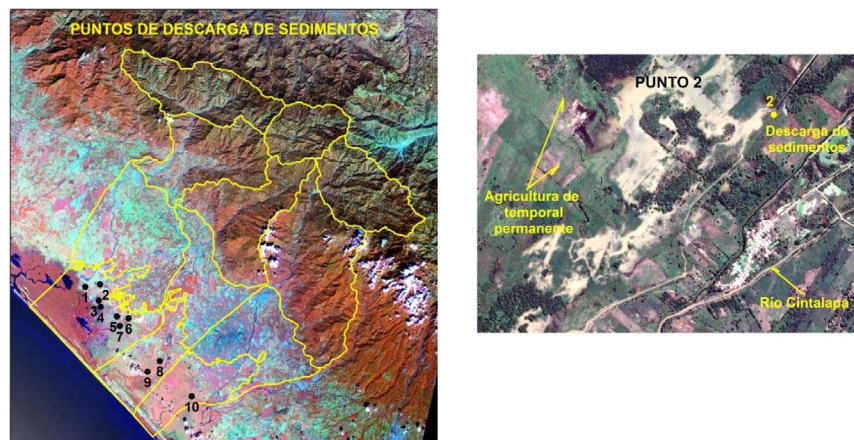


Figura 4. Ubicación de puntos de descarga de sedimentos en zona de humedales

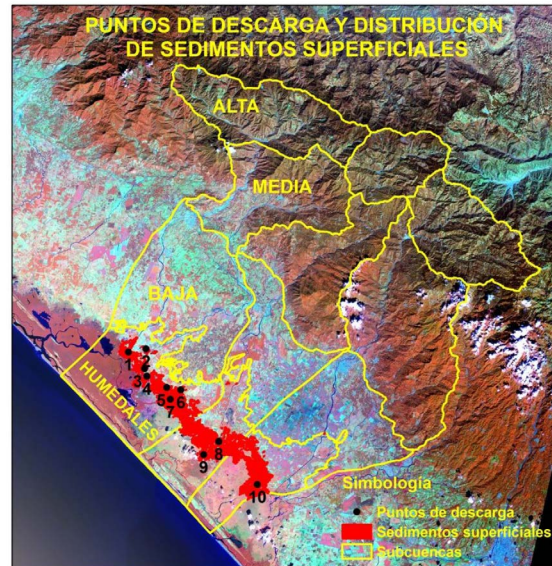


Figura 5. Área identificada con sedimentos superficiales

Resultados

Para el primer objetivo de este estudio, los resultados se concentran en la Tabla 2 donde se especifica el valor cuantitativo de alteración ecológica. Se resalta en color amarillo los niveles cuatro y cinco, que son mayor alteración, porque indican un deterioro alto en las subcuencas.

La subcuenca Laguna del Viejo y Tembladeras presenta en cada una de las cuatro zonas evaluadas valores de alteración ecológica de nivel cuatro y cinco, lo que es un indicador claro de que esta subcuenca está muy alterada ecológicamente; la alteración en la subcuenca del río Huixtla presenta valores altos en la parte media, baja y de humedales; solo en la parte alta los valores que presenta son de nivel tres y dos, lo que indica que la alteración es alta y solo la parte alta presenta una moderada alteración ecológica. La subcuenca del río Despoblado presenta una alteración alta en la parte baja y de humedales, en la parte alta y media presenta valores de tres y dos, lo que da elementos para considerar que en estas dos regiones tienen niveles de conservación ecológica aceptables. Si se analiza por separado la zona de humedales, esta presenta valores de cinco en las tres subcuencas para el indicador sedimentación e indicador faunístico, lo que indica que existe una dinámica de depositación acelerada proveniente de aguas arriba por el deterioro de las subcuencas, además de la pérdida de hábitat de las especies principalmente por la transformación de las áreas natural en áreas agrícolas y ganaderas.

Para el segundo objetivo, el área donde se concentran los sedimentos, de manera temporal o permanente, representa aproximadamente el 13% del total del área de humedales, identificar esta área es importante porque de acuerdo con datos del pasado cercano es el área más vulnerable para cambiar su condición actual; el área del humedal ha

disminuido en los últimos veinticuatro años de acuerdo con los resultados obtenidos del indicador cambio de cobertura vegetal, lo que antes era vegetación de humedal ahora es agricultura, lo que significa una pérdida muy grande de los servicios ambientales que proporcionan al ser humano.

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los resultados de la metodología aplicada, el estado de salud de las subcuencas es mala con una tendencia a ser grave, las tres presentan una alteración ecológica alta y muy alta en alguna de sus partes; sin embargo, los resultados muestran que la subcuenca con mayor alteración ecológica es Laguna del Viejo y Tembladeras, prácticamente desde la parte alta hasta la parte de humedales su alteración se mantiene en niveles de cuatro y cinco; esta alteración ha provocado que el proceso natural de sedimentación sea acelerado, alterado y de cierta manera es incontrolable en las condiciones actuales.

Viendo al futuro se puede pensar que una manera eficaz y eficiente para detener la alteración ecológica es proponiendo políticas de conservación dirigidas a los actores sociales que están participando en la alteración ecológica de las subcuencas; en la naturaleza es prácticamente imposible recuperar una condición original, por lo que se plantea que las políticas de conservación estén encaminadas a conservar lo que existe y detener el proceso de degradación. Sin duda que es un reto muy grande porque está demostrado que cualquier política propuesta para que sea exitosa necesita de la participación los actores principales, en este caso la sociedad civil que vive en las subcuencas, una política que busque satisfacer las necesidades de vida de la población y al mismo tiempo trabajar para la conservación de la naturaleza que es dadora de bienestar.

Tabla 2. Resultados obtenidos para determinar la alteración ecológica de las subcuencas

Indicadores de vulnerabilidad	Subcuencas		
	Huixtla	Despoblado	L. Viejo y T.
Parte alta			
Cambio cobertura vegetal	3	3	5
Poblaciones	3	2	1
Erosionabilidad	5	5	5
Hidrológico	2	1	4
Bosque ripario	5	5	5
Bioindicador de calidad del agua	1	1	4
Bioindicador faunística	2	3	3
Parte Media			
Cambio cobertura vegetal	4	3	4
Poblaciones	4	2	3
Erosionabilidad	5	5	4
Hidrológico	3	1	4
Bosque ripario	5	4	3
Bioindicador de calidad del agua	2	1	2
Bioindicador faunística	5	5	5
Parte Baja			
Cambio cobertura vegetal	4	4	4
Poblaciones	5	5	4
Erosionabilidad	2	2	1
Hidrológico	4	5	5
Bosque ripario	5	3	5
Bioindicador de calidad del agua	3	3	3
Bioindicador faunística	5	5	5
Humedal			
Cambio cobertura vegetal	4	4	4
Poblaciones	2	2	4
Sedimentación	5	5	5
Bioindicador faunística	5	5	5

Referencias

- Becerra, A. (2005). Escorrentía, erosión y conservación de suelos. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Cortés, H. (1991). Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis M. C. México: Colegio de Posgraduados Montecillos.
- Daily, G. C. (1997). Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems. New York: Island Press.
- Imbach, A. (2006). The Nature Conservancy. Chiapas: Programa Chiapas, Programa Cuencas Costeras de Chiapas. Tarjeta de Evaluación de Cuencas Hidrográficas (TECH).
- Moreno-Casasola P. y Warner, B. (2009). (Eds.). Breviario para describir, observar y manejar humedales. Serie Costa Sustentable no.1. RAMSAR, Instituto de Ecología A. C.,

