



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs; LATINDEX; DICE; ANECA; ISOC; RePEc y DIALNET
Vol 8. N° 22
Febrero 2015
www.eumed.net/rev/delos/22

CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS SISTÉMICO DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS HUMEDALES ALTOANDINOS.

CONSIDERATIONS SYSTEMIC ANALYSIS OF SUSTAINABILITY OF HIGH ANDEAN WETLANDS.

Gloria Yaneth Flórez Yepes¹
gyflorez@ucm.edu.co
Jhon Fredy Betancur Pérez²
jbetancur@umanizales.edu.co
Universidad de Manizales
Colombia

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	2
1. Indicadores ambientales y antrópicos que permitan analizar la sostenibilidad de los humedales.....	3
2. Características ambientales determinantes en la sostenibilidad ecosistémica de humedales altoandinos.	5
3. Características sociales o antrópicas influyentes en la dinámica de los humedales altoandinos.	7
4. Relación del estado del humedal con la dinámica ecosistémica a nivel del complejo de humedales, a partir de métodos de teledetección.	10
Conclusiones	13
Bibliografía.....	14

¹ Administradora ambiental Magister en Desarrollo sostenible y Medio Ambiente Docente Universidad Católica de Manizales Docente Universidad de Manizales, Estudiante Doctorado de la Universidad de Manizales, Colombia

² Esp. Biología molecular y biotecnología; PhD en Ciencias, Docente Investigador, Grupo de Investigaciones Biomédicas, director de la línea de investigación en biosistemas integrados (CIMAD), Miembro del comité de doctores, Doctorado en desarrollo sostenible. Universidad de Manizales.

RESUMEN

En este artículo se hace la descripción de algunas metodologías para el análisis de la sostenibilidad en diferentes ecosistemas naturales, especialmente en los humedales altoandinos; en este sentido, se inicia con una revisión de investigaciones sobre las cuales se han abordado metodologías para definir indicadores ambientales y antrópicos que permitan medir la sostenibilidad de los humedales; posteriormente se hace una descripción de las características ambientales que han sido determinantes en la sostenibilidad ecosistémica de humedales altoandinos, considerando diferentes tipologías, así mismo se consideraron las características sociales o antrópicas influyentes en la dinámica de estos ecosistemas y por último se consideran diferentes estudios donde se ha analizado la relación del estado del humedal con la dinámica ecosistémica, especialmente a partir de métodos de teledetección; como principal conclusión se obtiene que el estudio de los ecosistemas de humedales deben abordarse desde un enfoque sistémico que permita entender las interrelaciones e interconexiones existentes entre los diferentes elementos que lo conforman.

PALABRAS CLAVE: Humedales, indicadores ambientales, indicadores antrópicos, relación ecosistémica, teledetección.

ABSTRACT

In this paper the description of some methodologies for the analysis of sustainability in different natural ecosystems, especially in the Andean wetlands is done; in this sense, begins with a review of research which have addressed methodologies for defining environmental, anthropogenic and economic indicators to measure the sustainability of wetlands; then a description of the environmental characteristics that have been crucial in the sustainability of Andean wetlands ecosystem, considering different types, also influential social or anthropogenic features were considered in the dynamics of these ecosystems and finally consider different studies done where has analyzed the relationship status of the wetland ecosystem dynamics, especially from remote sensing methods; Its main conclusion is obtained that the study of wetland ecosystems should be addressed from a systemic approach to understand the interrelationships and interconnections between the different elements that comprise it.

KEYWORDS: wetlands, environmental indicators, anthropogenic indicators, ecosystem relation, remote sensing.

1. INDICADORES AMBIENTALES Y ANTRÓPICOS QUE PERMITAN ANALIZAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS HUMEDALES.

Los humedales altoandinos son ecosistemas que presentan un alto grado de complejidad dado sus múltiples funciones e interacciones ecosistémicas. Han sido muchos los análisis que se han realizado alrededor de los indicadores ambientales, antrópicos y económicos que han permitido establecer propuestas de sostenibilidad de estos ecosistemas.

Es importante para el abordaje del estudio de los humedales entender el concepto de sistema; en este sentido, la teoría jerárquica de los sistemas es de gran importancia, pues estos ecosistemas se consideran sistemas complejos donde se ordenan factores y procesos en un espacio de territorio, sobre los cuales se deben considerar los indicadores ambientales estableciendo relaciones causales que permitan crear un sistema de índices que sirvan como insumo para su proceso de ordenación y planificación.

En este sentido, Ortega et al, 2010 plantea que éstos ecosistemas deben ser evaluados desde aspectos hidrológicos, litológicos e hidroquímicos y que su evaluación debe ser orientada en el contexto de cuenca hidrográfica con el fin de hacer más efectivos los procesos de planificación, que permitan entender todo el contexto de territorio.

Otros indicadores que han sido utilizados son los hidrogeomorfológicos, sobre los cuales principalmente los países del norte los han utilizado con el fin de evaluar los aspectos funcionales de los humedales a escala de cuencas, sobre este es el cual se evalúa la situación que ocupa el humedal en el paisaje, el régimen hidrológico y la hidrodinámica; por otro lado, los Indicadores fisicoquímicos han sido muy utilizados para evaluar la calidad del agua de los humedales y están asociados tanto a factores bióticos como a factores antrópicos y los Indicadores biológicos han sido útiles para dar cuenta del estado de un ecosistema, ya que ante las diferentes presiones antrópicas generan respuestas de comportamiento.

Los diferentes enfoques de evaluación de los ecosistemas de humedales se han basado en análisis multivariantes y multimétricos, los primeros se utilizan para evaluar ecosistemas en los cuales se tiene un conocimiento limitado del sistema, mientras que los segundos se han utilizado para medir el estado predictivo de los ríos (Ortega et al, 2010).

Por otro lado para medir el balance hídrico de una cuenca o un humedal, el Instituto Nacional de ecología, 2003: propone una "clasificación jerárquica de los paisajes hidrológicos, de forma tal que el balance se desarrolle por polígonos de las Unidades Hidrológicas Territoriales (UHT); en este sentido, el estimado de los volúmenes de agua resultantes en cada una de ellos, se sumará de acuerdo a los Sistemas Hidrológicos (SH), y estos últimos a su vez se agruparán y adicionarán de acuerdo al nivel jerárquico

superior que son los Complejos Hidrológicos (CH)". De acuerdo a lo anterior se ratifica la necesidad de analizar los humedales a escala de cuenca de manera dinámica con el fin de entender su comportamiento.

Otro aspecto importante en este tipo de estudios es el concepto de fragilidad hidrológica, el cual consiste en medir la capacidad que tiene el ecosistema de responder a eventos de carácter natural; estudios como estos se realizaron en la cuenca Chapala-Lerma en México donde se establecieron mapas considerando los índices de Zona de funcionamiento hidrológico, tipo de red de drenaje, y disección horizontal del relieve (densidad de red de drenaje); así como la vulnerabilidad hidrológica en la cual se consideró la fragilidad y el deterioro del agua a causa de razones antropogénicas, donde se utilizó una metodología de recolección de los datos a partir de la elaboración una matriz que articuló los diferentes indicadores para el análisis del estudio . (Instituto Nacional de ecología, 2003).

Otros aspectos que se han considerado en el estudio de humedales son la sistematización y estandarización de todos los lineamientos para su manejo. En este sentido el Gobierno de Chile, (2011) plantea un documento donde se hace una descripción de los diferentes tipos de humedales, así como de la vegetación existente y la caracterización de cada uno de éstos, utilizando diferentes parámetros entre ellos los del componente hídrico: Caudal superficial, Nivel freático, niveles subterráneos, altura de escurrimiento y nivel hidrométrico, según las características del humedal y variables meteorológicas donde se incluyó dirección e intensidad del viento, temperatura del aire, precipitación, radiación total y evaporación. En este mismo estudio, la escala sugerida para la realización de estos estudios es de 1:10.000 o mayores; frente a la intensidad de muestreo se sugiere considerar al menos períodos extremos, utilizando como criterios el régimen climático y/o hidrológico.

Para los parámetros del componente acuático: se consideraron aspectos físicoquímicos, tales como temperatura, pH y algunos nutrientes. Dentro de los parámetros Biológicos se consideraron algunos grupos que fueran dependientes directa o indirectamente del humedal. "Biomasa: cuantificación con métodos directos de la concentración de clorofila (A) en columna de agua y sedimentos, carbono orgánico total en columna de agua y sedimentos" (Gobierno de Chile, 2011).

Para las muestras de los parámetros físicoquímicos se llevó a cabo la metodología de las normas de calidad de aguas de Chile en laboratorios acreditados. Para el análisis biológico se tuvo en cuenta los protocolos internacionales y las guías metodológicas aceptadas por el ministerio de medio ambiente de Chile (Gobierno de Chile, 2011).

Dentro de los parámetros del componente terrestre; se analizó vegetación, formaciones vegetales; superficie por formación vegetal (interpretación sobre imagen de resolución apropiada); cobertura específica por formación vegetal; Características de sustrato (porcentaje de materia orgánica, salinidad y profundidad a través de análisis de suelo en terreno a través de barreno o calicata" (Gobierno de Chile, 2011).

Otro aspecto importante en la definición y determinación de las variables en los humedales es el estudio de los nutrientes y sedimentos ya que estos ecosistemas representan un papel importante en el reciclado de los nutrientes. Es importante considerar los nitratos y fosfatos generados por las aguas residuales de los fertilizantes, pues éstos llegan a los humedales transportados por los arroyos y son absorbidos por las plantas para mejorar las condiciones de calidad del agua; es decir, la presencia de plantas en estos ecosistemas contribuyen a hacer un tratamiento natural de depuración, por este motivo y dado el funcionamiento que tienen los humedales naturales, en los últimos años se ha investigado en la construcción de humedales artificiales con el fin de hacer tratamientos de aguas residuales. Es importante tener en cuenta que la capacidad de los humedales para cumplir con esta función es limitada ya que cuando éstas se encuentran muy enriquecidas artificialmente, pueden causar eutrofización en los mismos, lo cual puede ocasionar crecimientos de algas que impiden el desarrollo normal de la biodiversidad del humedal (Ramsar 2010).

En el “III Seminario Internacional de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos; sostenibilidad e Indicadores” celebrado por la Universidad de Almería se definieron los indicadores de sostenibilidad para estudiar los espacios y comunidades rurales. Frente a la agricultura y ganadería sostenibles se elaboraron los indicadores a través del “desarrollo de funciones de probabilidad de utilidad neta y la disponibilidad de cultivos comerciales para evaluar el éxito o fracaso (sostenibilidad) del sistema, y la recolección de información de campo sobre aspectos específicos de los sistemas con el fin de perfeccionar los modelos ya existentes” (Tolón et al. 2008).

Frente a la sostenibilidad de los suelos agrarios; en diferentes países dentro de los cuales Cuba se han venido trabajando indicadores edáficos por más de 25 años, en este sentido se ha evaluado erosión, compactación del suelo, contenido de materia orgánica, entre otros (Tolón et al. 2008).

2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DETERMINANTES EN LA SOSTENIBILIDAD ECOSISTÉMICA DE HUMEDALES ALTOANDINOS.

Para determinar las características ambientales en la sostenibilidad de los ecosistemas se han venido trabajando principalmente, métodos de modelación, los cuales han permitido conocer las interacciones que suceden al interior de diferentes ecosistemas articulando todos los elementos que lo componen para entender su estructura y dinámica y poder hacer procesos de planificación que garanticen su permanencia en el tiempo.

Existen cuatro grandes grupos para hacer modelación de ecosistemas especialmente cuando se trata de distribución de especies: los estadísticos de regresión, los aditivos generalizados, los métodos de clasificación y los basados en algoritmos, los primeros son los más utilizados ya que permiten establecer relaciones entre las variables y la presencia de especies o ecosistemas; permite además hacer una proyección adecuada de la presencia de especies en el tiempo y el espacio (Pliscoff et al. 2011)

(Pliscoff et al. 2011). Los métodos de clasificación se basan en la determinación de clases para cada una de las variables establecidas, y el método de algoritmos ha tomado mayor fuerza especialmente en el área ambiental dada la rapidez con que se pueden obtener resultados.

“Los modelos de distribución se generan usando dos tipos de fuentes de información: los datos de presencia o ausencia de las especies/ ecosistemas que se quiere modelar y las variables descriptoras que definirán el espacio ambiental, donde se distribuirá en el espacio geográfico” Pliscoff et al. 2011.

De acuerdo a lo anterior, para la evaluación de las variables ambientales se han trabajado dos grandes grupos: las variables bioclimáticas y las edafológicas, de las primeras existe una base de datos predeterminada de 19 variables ya estandarizadas disponibles en la base de datos global de superficies climáticas Worldclim (Hijmans et al., 2005).

Para la evaluación de los ecosistemas, Ramsar (2010) plantea que las técnicas de evaluación rápida son eficientes para evaluar no solo ecosistemas sino también especies, en este sentido, la teledetección es una metodología adecuada para hacer este tipo de evaluaciones, sin embargo cuando se quiere llegar a nivel de detalle frente a la caracterización genética, este tipo de metodologías no son tan eficientes.

Es importante considerar que cuando se trata de ecosistemas como los humedales es necesario tener en cuenta la estacionalidad; generalmente las evaluaciones rápidas se hacen instantáneas, sin embargo, para el caso de humedales dada su variedad de comportamiento frente a la regulación hídrica dependiente de las condiciones climáticas es necesario hacer varios muestreos en diferentes épocas del año. En este sentido, las variaciones de los humedales pueden categorizarse en los siguientes fenómenos: sistemas perennes que tienen flujo del agua permanentemente, sistemas estacionales que poseen flujo de agua especialmente en época de lluvia, sistemas episódicos los cuales pueden presentar flujos de agua pero no son predecibles no coincidentes con la época de lluvia y por último los sistemas efímeros que se presentan esporádicamente por cortos periodos de tiempo (Ramsar 2010).

Los principales aspectos de este tipo de evaluaciones rápidas son: “aspectos cualitativos y cuantitativos de la calidad y cantidad del agua; b) causas de la pérdida de biodiversidad y de la contaminación del agua, comprendida la deforestación, los flujos de plaguicidas y otras explotaciones no sostenibles; y c) presiones de los usos insostenibles de la tierra (por ejemplo, turismo, agricultura, pesca e industria)” (Ramsar 2010).

Castro Roa (2009) en su trabajo de tesis doctoral realizó una comparación del comportamiento y la respuesta que tienen las diatomeas perifíticas en diferentes humedales de la ciudad de Bogotá, haciendo una comparación frente a aquellas que se encontraban en condiciones diferentes de antropización, para este estudio se realizaron análisis biológicos y fisicoquímicos en diferentes periodos; a partir de esto se elaboraron tres herramientas para la evaluación de los humedales basada en el principio de

bioindicación evaluando el estado limnológico del humedal generando como resultado que el estudio de las diatomeas es un buen indicador para el análisis de estos ecosistemas en la ciudad de Bogotá; por otro lado dentro de los parámetros fisicoquímicos se evaluaron principalmente el contenido de fósforo y nitratos que son los causantes de la eutrofización principalmente, así como el oxígeno disuelto, y los sólidos disueltos. Otro aspecto tenido en cuenta en esta investigación fue el índice saprobico donde se analizó el contenido de materia orgánica en descomposición midiendo la demanda biológica de oxígeno. Los índices multimétricos también fueron utilizados combinando tanto los indicadores fisicoquímicos como los de las comunidades bióticas para lograr un mejor análisis.

Otro estudio relacionado es el realizado en Chile (Diaz et al. 2008) donde hizo una comparación de la vegetación de los humedales en diferentes turberas y mediciones del nivel freático en humedales con diferentes grados de antropización; en este se realizó un análisis florístico donde se estudiaron siete sitios diferentes en turberas con mayor y menor grado de antropización; el muestreo florístico se realizó utilizando transectos, con cuadrantes de 50 X 50 centímetros a cada 10 metros, donde se identificaron diferentes especies de plantas; igualmente se monitoreó el nivel freático en seis turberas con mayor y menor grado de antropización y su análisis estadístico se realizó con análisis de varianza de diferentes muestreos repetidos haciendo comparaciones de los diferentes sitios.

3. CARACTERÍSTICAS SOCIALES O ANTRÓPICAS INFLUYENTES EN LA DINÁMICA DE LOS HUMEDALES ALTOANDINOS.

En vista de la constante influencia que ha tenido el hombre sobre los ecosistemas naturales ya sea por su necesidad de uso directo o por la necesidad de ampliar la frontera agrícola y pecuaria que afecta directamente a los recursos naturales, se han abordado diferentes metodologías para el análisis de las características antrópicas más influyentes en la dinámica de los ecosistemas.

Las perturbaciones o alteraciones de los humedales pueden darse fundamentalmente por dos factores: aquellos que se producen sucesivamente en el tiempo y aquellos donde existe un evento único que puede afectar el ecosistema, igualmente, también se pueden clasificar en perturbaciones antrópicas y naturales, las cuales en mayor o menor medida pueden acelerar el desequilibrio de los factores ambientales; la jerarquía sobre las cual se consideran estos factores en los humedales en su orden son: los físicos, químicos y los biológicos (Gobierno de Chile, 2011); en este sentido, para el análisis y estudio de las dinámicas ecosistémicas es importante considerar estos tres factores.

Para entender las problemáticas ambientales alrededor de las necesidades humanas se ha abordado el estudio de la etnoecología, el cual está enfocado a entender la antropología en su entorno natural, desde los ancestros, de esta manera volver al pasado para entender cuáles han sido las relaciones hombre – naturaleza es importante para descubrir la forma de abordaje del uso de los recursos naturales; en sus inicios, las investigaciones en etnoecología se centraron en documentar cómo y porqué diferentes

grupos indígenas clasificaban los elementos del medio ambiente (i.e., plantas, suelos) (Berlin et al., 1966, 1974; Hunn, 1977) y 2) retomado de García et, al 2007.

Para abordar las formas de investigar actualmente la etnoecología es necesario comprender el conocimiento local frente a las temáticas ecológicas, conocer las interrelaciones de la biodiversidad y la diversidad cultural, entender el manejo de los recursos naturales así como la diferencia y/o relaciones del fortalecimiento económico y el bienestar de las personas en un ecosistema (García et, al 2007).

Frente a las interrelaciones existentes entre la biodiversidad y la diversidad cultural, es preciso anotar que estas pueden ser tanto negativas como positivas, pues el conocimiento local puede conllevar a que haya una protección de los recursos naturales, la cultura puede ser mediadora en la protección del medio ambiente. Así mismo cuando existen saberes locales frente a las temáticas ecológicas se puede pensar en un manejo adecuado de los recursos naturales, que permita las buenas prácticas agrícolas las cuales han sido adaptadas por muchas comunidades campesinas.

El conocimiento local es la base para entender todas las formas de abordaje de la investigación etnoecológica, además representa una base sólida para llegar a consolidar un desarrollo rural cuando se trata de contextos rurales (Berlín, 1974).

Un aspecto importante relacionado con el estudio de los humedales es entender la cultura alrededor de los mismos, la pérdida de cultura asociada a los humedales implica que haya pérdida de éstos ecosistemas, en muchas ocasiones éstos han representado códigos morales y tradiciones, además muchas han sido las actividades culturales que a través de la historia han estado asociadas a los humedales ya sea porque éstos han hecho parte de los medios de vida y subsistencia o por los bienes y servicios ecosistémicos que éstos ofrecen (Ramsar, 2008).

De acuerdo a lo anterior, se destaca la importancia que han tenido los restos arqueológicos que se han encontrado cerca a los humedales dado precisamente porque los asentamientos humanos desde los ancestros están asociados a estos ecosistemas, en busca de los diferentes bienes y servicios ecosistémicos, los cuales están representados en aprovisionamiento de agua para consumo y riego para cultivos, diversidad de especies tanto de flora como de fauna entre otras (Ramsar, 2008).

Para estudiar los humedales es necesario entender el cambio de las culturas, que habitan sobre los humedales, entender su historia, su forma de utilizar su patrimonio, pero además su forma de pensar frente a la herencia ecosistémica que se le deja a las generaciones futuras.

Las actividades humanas están asociadas a la cultura, es por este motivo que es necesario entender cuáles son las actividades que se generan alrededor de los humedales, con el fin de buscar un equilibrio entre las necesidades humanas y las condiciones de sostenibilidad.

Para el análisis de la antropización en los humedales (Peña et al. 2006), se plantea que este tipo de estudios debe abordarse tanto a nivel de cuenca para analizar todo el ecosistema como a nivel de unidad de humedal, en su estudio realizado para este efecto en el primer caso se realizó un análisis del espacio utilizando cartografía y sistemas de información geográfica, mientras que para el segundo se adecuaron matrices de impacto ambientales, con el apoyo de diferentes expertos.

Así mismo en este estudio para la caracterización de las subcuencas se hizo fotointerpretación utilizando la vegetación como bioindicador, además de los criterios morfológicos. Para el caso de la evaluación de los humedales se utilizó la metodología de medición de impacto EULACONAMA(1999) adaptada para este caso, donde se valoró el funcionamiento de los humedales frente al uso del suelo considerando los siguientes aspectos: “reversibilidad, capacidad del sistema de volver a un estado inicial; probabilidad, ocurrencia de un impacto sobre el humedal; y magnitud, indicador que integra intensidad, duración e influencia espacial” (Peña et al. 2006); se utilizó además una escala de valores de afectación del humedal con el fin de tipificar el grado de alteración que presenta cada uno. Para el análisis del nivel de antropización se hizo una combinación entre las variables analizadas en las subcuencas y las analizadas en los humedales caracterizando su resultado en bajo, moderado, y alto, dependiendo del grado de afectación.

Otro estudio importante en el análisis de humedales es el realizado por Foronda et al. (2010), en el cual se plantea la necesidad de la participación de las comunidades en las decisiones frente al medio ambiente puesto que éstas son las protagonistas del uso y manejo de los recursos naturales; en donde se estudian cuatro comunidades europeas aledañas a áreas protegidas. En este estudio se elaboró un sistema de indicadores de equilibrio territorial los cuales se construyeron con el fin de hacer seguimientos de los impactos ocasionados en las áreas protegidas, éstos indicadores proporcionan información sistematizada de un ecosistema complejo; para esta construcción se tuvo en cuenta una metodología de pirámide con cuatro niveles: en el primero se establecieron los aspectos sociales y ambientales, en el segundo se plantea un proceso de planificación, en el tercero se plantean indicadores para evaluar los procesos de planificación y en el cuarto se estudian los índices del equilibrio territorial; éste último se genera a partir de la suma de los resultados del diagnóstico medioambiental, estado económico y estado social.

Por otro lado frente al estado medio ambiental se determinaron indicadores de conservación, gestión y uso público; frente al estado de desarrollo económico se consideró factores económicos, actividad financiera, económica, convergencia; frente al estado de desarrollo social se tuvo en cuenta demografía, conectividad y otros como participación política y social, entre otros, con lo que se hizo un modelo de presión – estado-respuesta con el fin de definir las relaciones entre la acción antrópica y el equilibrio natural (Antequera 2005).

4. RELACIÓN DEL ESTADO DEL HUMEDAL CON LA DINÁMICA ECOSISTÉMICA A NIVEL DEL COMPLEJO DE HUMEDALES, A PARTIR DE MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN.

Un aspecto importante en el análisis de los humedales, es entender su relación con todo el ecosistema; en este sentido, Sánchez, et al. (2007) muestra como la importancia del régimen hidrológico está directamente relacionada con la cantidad y calidad de biodiversidad en el ecosistema; en la medida en que haya disponibilidad hidrológica esto hará que pueda existir un hábitat con unas condiciones y características adecuadas para el desarrollo de las especies tanto vegetales como animales. Bunn & Arthington (2002), han estudiado cuatro principios fundamentales relacionados con la dinámica hidrológica y su relación con la biodiversidad estos principios están relacionados principalmente con la adaptación de las especies ante los cambios hidrológicos y con la invasión y éxito de las especies introducidas.

Otro estudio importante es el realizado por el instituto Nacional de ecología (2003), el cual plantea como la medición de caudales mínimos y la medición de las crecidas del río Ebro (en España), determinan la presencia de especies tanto acuáticas como terrestres, se manifiesta que las especies que son nativas tienen mayor capacidad de adaptación que las foráneas, ante los niveles mínimos de caudales.

El Gobierno de Chile (2001), ha venido trabajando en estos ecosistemas para lo cual han desarrollado un estudio donde mencionan el funcionamiento sistémico de los humedales altoandinos; en éste se hizo una comparación del funcionamiento de los humedales a nivel de varias cuencas con el fin de identificar el comportamiento de las especies. La composición de los humedales es más específica, su fragilidad está dada porque su dinámica natural está controlada por las aguas superficiales y las condiciones climáticas regionales, en este sentido, cuando hay disminución en la regulación hídrica superficial, esto se ve reflejado en los humedales. Para el estudio de los humedales de manera sistémica es necesario entender y estudiar el ecosistema desde su estructura considerando tanto la flora y fauna acuática como la terrestre, los componentes abióticos y las interrelaciones que se generan entre ellas.

Sandoval (2013), menciona que es importante considerar que en el estudio de la vegetación a partir de imágenes espectrales se debe diferenciar las diferentes macrófitas dependiendo del tipo de humedal, en los que tienen espejo de agua se encuentran hidrófitas mientras que en los pantanos y turberas se encuentran las heliófitas. Igualmente en los humedales que van perdiendo su espejo de agua hay tres zonas que se caracterizan, una zona que se encuentran con características entre terrestres y acuáticas considerada como el litoral, la zona que aún queda pantanosa y que en muchas ocasiones puede alcanzar hasta 1 m de profundidad en el que se desarrollan plantas heliófitas principalmente y la zona con espejo de agua donde se desarrollan plantas sumergibles.

Existen diferencias en el momento de analizar la vegetación por imágenes espectrales en humedales frente a ecosistemas terrestres pues en los primeros son muchos los factores que pueden influir en la interpretación de la imagen como la

presencia de agua, áreas sin vegetación entre otros, sin embargo hay algunas características especiales de las plantas que la hacen diferir del resto de elementos del paisaje (Sandoval 2013).

Esta investigación se realizó en el primer humedal RAMSAR de Chile, Humedal (Río Cruces), las imágenes utilizadas fueron Landsat TM disponibles en el centro de observación de Estudios de la Tierra, donde se determinó un periodo de 10 años para el análisis obteniéndose en total de 59 imágenes para el estudio habiéndose tenido que rechazar algunas dado la gran nubosidad que había en la zona; el procesamiento de las imágenes se realizó a partir del software ENVI 4.8. Se escogieron principalmente 4 especies vegetales para el análisis, por otro lado se tomaron imágenes con una cámara multiespectral portátil ADC tanto en zonas con vegetación como en el cuerpo de agua del humedal, las cuales fueron calibradas y corregidas a través de un software; una vez obtenidas las firmas espectrales se realizó la clasificación supervisada de las imágenes a partir de la definición de dos parámetros, posteriormente se determinó el índice NDVI usando la fórmula: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, donde NIR y RED corresponden a dos de las tres bandas disponibles en la cámara multiespectral ADC. Se obtuvo un rango de valores NDVI para las especies objetivo” (Sandoval, 2013).

Otro estudio importante fue el realizado por Posada et al. (2001). Quienes concluyeron el estudio de Análisis multitemporal del cambio del ecosistema de manglar en la costa del departamento del Atlántico Colombia, este estudio se realizó a partir de fotografías aéreas, utilizando la fotointerpretación en tres periodos anuales (años 1970, 1980 y 1996); en este estudio se hizo además una complementación de la información utilizando imágenes landsat; además del análisis del humedal se realizó también un estudio de los componentes o elementos del paisaje que rodean el manglar como la vegetación existente, bosques, problemas erosivos, entre otros. Por su parte, para la realización del estudio se utilizaron fotografías aéreas a diferentes escalas de 1:10.000 a 1:40.000 igualmente se utilizó la imagen landsat T TM-5 de 1996. Para el análisis de la información se utilizaron tanto instrumentos manuales como el estereoscopio e instrumentos virtuales como el software ERDAS y ARC/INFO. Se concluye que en este trabajo de investigación el proceso metodológico incluyó un proceso integral, tanto de recopilación de información en campo como de fotointerpretación y análisis de los datos.

Baeza et al. (2006), realizaron una caracterización funcional de la vegetación de Uruguay a partir de sensores remotos, para este estudio se utilizó el Índice de vegetación normalizado, el cual es un” índice espectral derivado de sensores a bordo de satélites que muestra una relación positiva y lineal con la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel. El análisis se llevó a cabo en un periodo de 20 años con imágenes de satélites de NOAA/AVHRR; para esta investigación fue importante entender los diferentes atributos funcionales que genera la vegetación; por un lado están las funciones primarias como el proceso de evapotranspiración, alimento primario y reciclado de nutrientes entre otros, y por otro están las funciones de estructura tales como fisionomía, abundancia relativa, entre otras.

Uno de los aspectos importantes que fueron determinados a través de esta investigación fue la productividad primaria la cual consiste en establecer la relación entre la cantidad de vegetación por unidad de área; así mismo se determinó la relación entre la productividad neta sobre la productividad primaria y el índice de vegetación normalizado. Otro aspecto importante fue determinar la tipología funcional del ecosistema a partir de tres atributos analizados del Índice de vegetación normalizado y se utilizó el ERDAS 8.4 con el fin de sistematizar la información (Baeza et al. (2006)

Pacheco et al. (2011) en su investigación realizada para analizar la deforestación en Venezuela, determinó varios periodos de tiempo; en este sentido, desarrolló lo siguiente: para un periodo entre 1920 – 2008, se construyó un mapa ecológico a escala 1:2.000.000 el cual fue elaborado utilizando algunas fotografías aéreas así como la clasificación biofísica y política a través el sistema de Holdrige. En 1982 se hizo la clasificación de la vegetación a escala 1:250.000 a partir de cartografía generada por sensores remotos, fotografías aéreas, imágenes de satélite óptico y radar del año 1977. En 1988 se obtuvieron imágenes lansat con las que se construyó un nuevo mapa de vegetación. Con los datos anteriores se prosiguió a la homogenización de éstos a partir de dos fases: agrupación de las zonas con presencia de bosques o ausencia de bosques y la homogenización del formato para la obtención del análisis final (para lo cual se contaba con datos digitales y datos analógicos). Finalmente se procedió a la detección de los cambios en las coberturas vegetales y se efectuó un análisis a partir de tabulación cruzada, donde se pudo establecer los puntos críticos, para lo cual se hizo un proceso de validación en campo.

En otra investigación (Parra et al. 2014) se realizó un análisis multitemporal de las variaciones morfológicas que ha tenido el río Patía a través del tiempo; en este sentido se utilizó cartografía del Instituto Geográfico Agustín Geográfico junto con imágenes satelitales lansat TM y ETM de 30 m de resolución espacial con imágenes entre 1986 y 2001, así como imágenes ASTER; se hizo además georreferenciación y confrontación de campo. En este estudio se determinó el cálculo de la tasa de erosión y cambios en el litoral a partir de mosaicos de las imágenes satelitales. La vegetación fue utilizada como el indicador del borde del litoral, para facilitar la identificación de este espacio se utilizó el índice de vegetación de diferencia normalizada. Para el análisis de la vegetación se realizó además una clasificación de la misma dando como resultado seis tipos de coberturas vegetales.

Montesinos (2011), realizó un estudio con el fin de analizar la problemática ocasionada en el litoral del mediterráneo dada la desertificación que se está ocasionando, en este sentido, se planteó una metodología que permitiera no solo identificar las áreas con riesgo de erosión hídrica, sino también poder realizar una evaluación minuciosa sobre ella. Para todo el proceso metodológico se utilizó la teledetección con imágenes de satélite Lansat y SPOT articulado en un sistema de información geográfica. Como punto de partida se tomó la USLE (Universal Soil Loss Equation. Ecuación Universal), metodología con la cual se ha determinado la pérdida de suelo con el fin de establecer comparaciones importantes de los datos, sin embargo los datos de la USLE son cualitativos, posteriormente se elabora el mapa de pendientes a través de un modelo de

elevación digital del terreno y se utiliza un mapa de densidad de la red de drenaje y un mapa de cobertura vegetal; a partir de los cuales se crea un mapa homogéneo de fragilidad y susceptibilidad a la erosión, posterior a esto se utilizó la ecuación MUSGRAVE (1974) con el cual se determinó el modelo final de pérdida de suelo.

Carpintero et al. (2010), desarrollaron el proyecto determinación de la susceptibilidad a la erosión a partir de imágenes de teledetección en el sector de la cuenca de Almanzora; en el cual se utilizó la teledetección, espectrometría de campo y SIG como herramienta para la determinación de la susceptibilidad del suelo en la cuenca. En su metodología se desarrolló una caracterización litológica y morfológica de la cuenca, donde se hizo una digitalización de los mapas, además de una corrección atmosférica utilizando el método del objeto oscuro (Chávez 1988; retomado de Carpintero et al. 2010), posteriormente se realizó una clasificación digital supervisada para finalmente realizarse el mapa de erosión de la cuenca el cual fue utilizado como herramienta de planificación de la misma.

CONCLUSIONES

El estudio de los humedales debe abordarse desde un enfoque sistémico que permita reconocer las interacciones existentes entre los diferentes elementos que componen el ecosistema.

Los indicadores que más han sido evaluados en el contexto de los humedales son los hidroquímicos, los hidrobiológicos y los biológicos, los cuales han permitido hacer un análisis profundo del comportamiento ecosistémico dentro del sistema.

Los métodos de modelación permiten establecer correlaciones importantes entre los diferentes componentes de los humedales con el fin de entender su comportamiento y poder generar insumos para un mejor proceso de planificación.

Para analizar los humedales es necesario establecer comparaciones entre aquellos que han tenido mayor y menor grado de antropización, con el fin de determinar la verdadera influencia que tiene el hombre sobre el ecosistema.

Son muchos los factores que pueden determinar el deterioro de un humedal, dentro de los cuales se encuentran los factores naturales, pues existen eventos naturales que son determinantes en la transformación de un ecosistema, por lo que el daño ambiental no solo debe ser atribuido a la acción antrópica.

La cultura es un factor determinante en el momento de abordar la conservación de los humedales pues de ella depende la vulnerabilidad de un ecosistema; la cultura es la mediadora de la protección de los recursos naturales.

El análisis de los humedales debe abordarse a escala de cuenca para entender en su conjunto las relaciones que se presentan en sus componentes.

La teledetección es una herramienta que nos permite conocer de manera sistémica el comportamiento de un ecosistema, en tal sentido que se pueden tener niveles de detalles del mismo y hacer retrospectiva de lo que ha sucedido en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Antequera, J. (2005): El potencial de sostenibilidad de los asentamientos humanos. Edición electrónica a texto completo. (consulta 11 marzo 2009). Disponible www.eumed.net/libros/2005/ja-sost
- Baeza, Santiago; Paruelo Jose; Altesor Alice, 2006. caracterización de funcional de la vegetación de Uruguay a partir de sensores remotos. *Interciencia*, 31,5, pag 382
- Berlin, B., Breedlove, D.E., Raven, P.H. 1974. Principles of Tzeltal Plant Classification: An Introduction to the Botanical Ethnography of a Mayan Speaking Community in Highland Chiapas . Academic Press, New York
- Bunn, S. E, Arthington AH. 2002. "Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity." *Environmental Management* 30 (4): 492-507.
- Chávez 1988. An improved dark – object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data: remote sensing of environment, vol 24 No3 pp 459-479.
- Carpintero, salvo, Chica Olmo J, Pardo Iguzquiza E; Rodríguez Galiano V (2010). Determinación de la susceptibilidad de la erosión a partir de imágenes de teledetección, en el sector de Almazora. *El acceso espacial y la teoría de las nuevas tecnologías geográficas*. Pag 677-690
- Castro Roa, Denisse, 2009. Desarrollo de un Índice de Diatomeas Perifíticas para evaluar el estado de los humedales de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Tesis doctoral
- Díaz, María, Larraín Juan, Zegers Gabriela & Tapia Carolina, 2008, Caracterización florística e hidrológica de turberas de la Isla Grande de Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Nat* 81: 455-468, 2008.
- Foronda Robles Concepción, García López Ana, Pérez de Azpillaga Luis GALINDO. 2010. Instrumentos para la caracterización socioeconómica de los espacios naturales protegidos: Indicadores de sostenibilidad. Departamento de Geografía Humana. Universidad de Sevilla. vol. 13, 27-40

- Fundación PANGEA. CORPOCALDAS. (2007). Informe de la Caracterización de Humedales en el proyecto Conservación de Humedales Altoandinos en cinco municipios del Departamento de Caldas: Neira, Salamina, Villamaría, Manizales y Marulanda. Manizales, Colombia: autor.
- Gobierno de Chile, 2011. Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos
- Hijmans, R. J. & Graham, C. H. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 2006, vol. 12, p. 2272-2281
- Instituto Nacional de Ecología, 2003. Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma-Chapala. Planeación, desarrollo y recuperación ambiental s.c. ("pladeyra")
- Montesinos, S 2011. Desarrollo metodológico para la evaluación del Riesgo de erosión hídrica en el área mediterránea Utilizando técnicas de teledetección y GIS . Tesis Doctoral.
- Ortega M, Martínez F, Padilla F, Aspectos Metodológicos para evaluar la calidad ambiental de los humedales. Departamento de Biología Vegetal y Ecología Universidad de Almería. España.
- Pacheco Carlos, Aguado Inmaculada; Mollicone Danilo, 2011. Dinámica de la vegetación en Venezuela. Análisis de los cambios a partir de mapas históricos. *Interciencia*; Vol 36 No 8.
- Parra Adriana, Restrepo Angel Juan D; 2014. El colapso ambiental en el río Patía, Colombia: variaciones morfológicas y alteraciones en los ecosistemas de manglar. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 42(1): 40-60. DOI: 103856/vol42-issue1-fulltext-4
- Posada Elena, Salvatierra Hilda Cristina. 2001. Análisis multitemporal del cambio del ecosistema de manglar en la costa del departamento del Atlántico Colombia. *Revista Cartográfica* pag 25
- Peña Cortés F, Gutiérrez P, Rebolledo G, Escalona M, Hauenstein E, Bertrán C, Schlatter R, Tapia J. 2006. *Revista de Geografía Norte Grande*, N° 36, p. 75-91.

Pliscoff P y Fuentes-Castillo Taryn. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48: 61-79

Ramsar, 2008. Cultura y Humedales. Grupo de trabajo sobre cultura Documento de orientación

Ramsar, 2010. Retención y exportación de sedimentos y nutrientes en los humedales. Ficha informativa 4 de una serie de 10

Ramsar, 2010. Directrices para la evaluación ecológica rápida de la biodiversidad de las zonas costeras, marinas y de aguas continentales. Informe Técnico de Ramsar núm. 1 Núm. 22 de la serie de publicaciones técnicas del CDB.

Rafael Sánchez y Carles Ibáñez Julio 2007. Caudales ambientales en l cuenca del río Ebro. Unidad de Ecosistemas Acuaticos IRTA. España.

Sandoval, Marilyn, 2013 "Caracterización de la vegetación acuática del humedal del río cruces por medio del análisis de imágenes espectrales". Laboratorio de Modelación Ecológica, Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Bióloga con mención en Medio Ambiente

Tolón Alfredo, Xavier B. Lastra Bravo. Conclusiones sobre investigaciones y experiencias de desarrollo sostenible en espacios rurales iberoamericanos. Área de Proyectos de Ingeniería. Universidad de Almería.