

GEODIVERSIDAD, ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Alberto Pereira Corona

Patricia Fragoso Servón

Universidad de Quintana Roo, México

Salvador Adame Martínez

Alejandro R. Alvarado Granados

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Fernando A. Rosete Verges

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Abstract

The evaluation of the legal instruments for planning and management of natural resources as well as for its preservation or protection in light of new approaches and knowledge is a need to maintain the validity of these instruments. Evaluation results of the Territorial Ecological Ordinances (OET) and the decrees of Protected Natural Areas (ANP) in Quintana Roo, Mexico from the point of view of spatial congruence of them to protect the Geodiversity and Biodiversity in the State are presented. Semiquantitative values of geodiversity for Quintana Roo are reported and those legal instruments are compared in terms of the acreage with higher values of geodiversity found in areas established for protection or conservation in those instruments. Some arguments, based on the results of the spatial analysis are provided to support the complementarity of the instruments in the management of territory and resources. The methodology permitted to identify some inconsistencies in the zoning of OETs.

Keywords: Land use planning, geodiversity, natural protected area

Resumen

La evaluación de los instrumentos legales para la planeación y el manejo de recursos naturales así como los destinados a su conservación o protección a la luz de nuevos enfoques y conocimientos es una labor por demás necesaria para mantener la vigencia de dichos instrumentos. Se presentan los resultados de evaluar los Ordenamientos Ecológicos

Territoriales (OET) y los decretos de Área Natural Protegida (ANP) en Quintana Roo, México desde el punto de vista de la congruencia espacial de los mismos para proteger la Geodiversidad y la Biodiversidad en el Estado. Se reportan los valores semicuantitativos de la geodiversidad para Quintana Roo y se comparan los instrumentos legales en función de la superficie con mayores valores de geodiversidad que se encuentra en zonas establecidas para protección o conservación en los instrumentos. Se aportan elementos con base en los resultados para apoyar la complementariedad de los instrumentos en el manejo del territorio y sus recursos. La metodología seguida permite detectar algunas incongruencias en las zonificaciones de los OET.

Palabras clave: Ordenamiento territorial, geodiversidad, área natural protegida

Introducción

El término geodiversidad se acuña alrededor de 1993 como equivalente al de biodiversidad para referirse a la variedad de la naturaleza no viva, recientemente ha ganado aceptación en el Reino Unido, España, Portugal, Italia, Suiza, Finlandia y Japón entre otros, como un nuevo paradigma geológico (Gray 2008).

Kozłowski (2004) define a la geodiversidad como una medida de la variedad natural de la superficie terrestre, referida a aspectos geológicos, geomorfológicos, edafológicos, hidrológicos, así como otros sistemas resultantes de procesos naturales (endógenos y exógenos) y la actividad humana. Gray (2008) la define como el intervalo natural de diversidad de rasgos geológicos (rocas, minerales y fósiles) geomorfológicos (formas del terreno y procesos) y suelos, incluye sus relaciones, propiedades, interpretaciones y sistemas.

La geodiversidad se mide a través de la variabilidad y el número de elementos físico-geográficos de un espacio dado, se analiza su variedad, frecuencia y distribución (Carcavilla *et al.* 2008), su medición se ha basado mayormente en la aplicación de algoritmos conocidos y utilizados en teoría de la información y ecología, buscando establecer indicadores cualitativos o cuantitativos con el uso de diversos modelos, índices y escalas (Serrano & Ruiz 2007).

En regiones de Polonia, la República Checa, Reino Unido y México, diversos autores han considerado como elementos de la geodiversidad la escala, las geoformas, la geología, la hidrología, el clima, la cobertura y uso del suelo y la vegetación (Parks & Mulligan 2010; Jačková & Romportl 2008; Priego *et al.* 2003).

En el estado de Quintana Roo hay una relativa homogeneidad geológico-geomorfológica a escalas medias y pequeñas pero los estudios técnicos que soportan las Áreas Naturales Protegidas (ANP) en el Estado, evidencian una elevada biodiversidad, situación planteada por Frago S. *et al.* (2014), Priego *et al.* (2003) y Carcavilla *et al.* (2008) en relación con la escala de análisis de los atributos que la definen. Al estado de Quintana Roo se le reconoce como una región importante para la conservación de la biodiversidad como lo atestigua la extensa superficie del mismo con algún estatus de conservación o protección en la legislación, así como su inclusión en el Corredor Biológico Mesoamericano, a pesar de ser considerado como una zona con un relieve “relativamente homogéneo” o de escasa geodiversidad.

Por su parte el Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) y las Áreas Naturales Protegidas (ANP), son dos mecanismos de la legislación mexicana que tienen como uno de sus objetivos la conservación de los recursos naturales (Gobierno de la República 2011), el OET mediante la planeación del desarrollo y el uso racional de los recursos naturales a través de la inducción y regulación de los usos del suelo, en tanto que las ANP establecen programas de manejo orientados en particular a la protección y conservación de recursos naturales que han sido reconocidos como importantes y cuya protección ha sido declarada de interés público.

Desde mediados de los años 90 se ha venido dando una acelerada proliferación de los espacios protegidos, ya sea en la forma de ANP o de OET, y no solo en México sino a nivel mundial, como lo apunta Troitiño (1995) al hacer énfasis en la necesidad de desarrollar mecanismos de participación de los grupos locales en la definición de dichos espacios, ya que muchas de las nuevas zonas de protección se han ubicado en sitios donde las condiciones de la población son desfavorables pero existe abundancia de recursos en condiciones de ser aprovechados para la conservación de hábitats únicos, conservación de biodiversidad, etc.

Existen múltiples enfoques y metodologías para la elaboración de los OET (Pereira C. 2012) o la delimitación de las ANP y sus programas de manejo (Prezas 2011), sin embargo en ellas no se mencionan índices o mediciones relacionadas con la geodiversidad u otros indicadores de la complejidad y riqueza del territorio, en parte debido a que son contados los trabajos sobre la geodiversidad que se han realizado en México (Cantú *et al.* 2004; Frago Servón 2015).

En diferentes trabajos se han analizado tanto los OET como las ANP en su capacidad para proteger la biodiversidad (Redford 2000; Villegas & GY 2000; Sierra *et al.* 2011) con sus correspondientes análisis del efecto sobre los grupos sociales poseedores de dichos recursos, sin embargo son pocos los que abordan estos instrumentos como mecanismos para la

protección de la geodiversidad entre los que sobresale el de Cantú *et al.* (2004).

Desarrollo

Objetivos

El objetivo del estudio fue evidenciar la viabilidad de las ANP y los OET decretados en Quintana Roo como mecanismos para proteger no solo la biodiversidad sino la geodiversidad en su conjunto mediante el análisis de estos aspectos en particular.

Metodología

Se evaluó la superficie de sitios con geodiversidades medias y altas que está protegida por los decretos de las ANP o por los espacios que en los OET tienen políticas de protección, preservación, conservación o restauración y comparar estos valores con las superficies totales de geodiversidad media y alta para Quintana Roo.

Existe una variedad limitada de metodologías que han sido usadas para identificar y medir la geodiversidad ya sea para su estudio o como insumo en la toma de decisiones para el manejo del territorio, muchas de las técnicas se han derivado de sus equivalentes para el estudio de la biodiversidad (Ibáñez & García 2002; Benito-Calvo *et al.* 2009; Cantú *et al.* 2004; Zwoliński & Stachowiak 2012; Xavier-da-Silva & de Carvalho-Filho 2004; Pike 2000).

En este estudio se optó por usar la riqueza de atributos por unidad espacial siguiendo a Jačková & Romportl (2008), las unidades sobre las cuales se evaluó la riqueza de atributos se derivaron de la zonificación resultante del análisis de alturas relativas de las geoformas para el Estado.

El análisis geomorfométrico se desarrolló con un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con resolución horizontal 1:50000 y resolución vertical de 10 m obtenido por interpolación (Takagi & Shibasaki 1996) de las curvas de nivel de las cartas topográficas del INEGI, y la zonificación geomorfométrica del territorio siguiendo a Priego *et al.* (2010), con la zonificación resultante se elaboró un mapa del Estado y cada unidad resultante fue calificada con los distintos atributos a considerar para el análisis de geodiversidad del territorio.

Para calcular la geodiversidad se usó un modelo aditivo simple de la diversidad temática considerando cuatro atributos relacionados con la heterogeneidad del terreno, Geología, Geomorfometría, Hidrología y Edafología.

$G = Dg_{(250)} + De_{(250)} + Dr_{(50)} + Dh_{(50)}$	
Donde:	Dh= diversidad hidrológica
G = Geodiversidad	De= diversidad edafológica
Dg= diversidad geológica	250= resolución espacial, en metros
Dr= diversidad del relieve	50= resolución espacial, en metros
Fuente: Geodiversity of a Tropical Karst Zone in South-East Mexico. (Fragoso-Servón, Pereira, Frausto, & Bautista, 2015)	

Para evitar el sesgo en los resultados se decidió no modificar los resultados de riqueza por atributo en el modelo, es decir no se ponderaron o introdujeron valores de corrección en las variables sino que se usaron en su escala e intervalo original, tratando así de no influir el resultado del análisis en función de diferentes escuelas que pudieran considerar una variable más importante que otra.

En el análisis se usó como valor de entrada al modelo la riqueza de atributos, es decir el conteo de formas diferentes del atributo a medir registradas en cada unidad.

La Geología y la Edafología se trabajaron con base en coberturas continuas derivadas de cartas geológicas (Serie I), edafológicas (Serie II) y de Uso del Suelo y Vegetación (Serie IV) desarrolladas para el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Quintana Roo (Pereira C. *et al.* 2013), todas en escala 1:250 000, contabilizando el número de formaciones para cada una de las zonas inicialmente definidas.

Para la riqueza edafológica se tomaron los grupos de suelo primarios o de mayor dominancia como identificadores, contabilizándose el número de grupos de suelos diferentes en cada zona (Cotler A. 2003; Bautista-Zuñiga *et al.* 2004).

La diversidad del relieve se contabilizó por la energía del relieve medido en función de las alturas relativas de las geformas derivadas del análisis geomorfométrico de manera semejante a como se ha hecho para la porción centro-este de Europa con la asignación de una escala de la diversidad en función de las diferencias de altura por unidad de área (Zwoliński 2010; Zwoliński & Stachowiak 2012).

La hidrografía se trabajó con base en la cartografía del INEGI de cuerpos de agua y depresiones con inundación permanente enriquecido con observaciones de campo, y otras fuentes como imágenes de satélite temáticas para identificar láminas de agua expuestas en distintas épocas del año y confirmar la permanencia dada la fuerte karsticidad del terreno (Frausto & Ihl 2010).

La Geodiversidad así puede tener valor mínimo de 4 y máximo de 20, para fines de la expresión cartográfica se dividió la gama completa de geodiversidades en cinco subintervalos con el algoritmo de Jenks (1977), el

cual genera la siguiente clasificación: valores de 4 a 5 muy baja, de 6 a 7 baja, 8 a 9 media, 10 a 12 alta y 13 a 17 muy alta.

Para poder trabajar con fuentes de datos a distintas escalas se optó por tomar como referencia espacial la información de mayor escala para definir los límites de las unidades espaciales (diversidad del relieve escala 1:50 000) y se calificaron por coincidencia espacial con los otros atributos; tomando en cuenta que para las escalas 1:250 000 debe existir una zona de contacto entre las zonas de cada cobertura con una anchura mayor a 250m para así garantizar que, a pesar de la incertidumbre asociada a cada escala, realmente hubiera contacto y coincidencia espacial entre los atributos de ambas capas de información.

Sobre estos elementos (la geodiversidad y la cobertura vegetal) se trazaron los límites de las ANP y los OET en el Estado para hacer una estimación de la diversidad biótica y abiótica que abarcan, y establecer un juicio no métrico de la pertinencia de la ubicación de estos instrumentos.

Resultados y discusión

La mayor parte del territorio muestra valores de geodiversidad que van de media a muy alta, con una franja de poco más de 40 km de ancho de bordes irregulares y que corre de norte a sur por el centro del estado con diversidades bajas y muy bajas Figura 1.

Se puede apreciar que la geodiversidad en Quintana Roo muestra tres grandes áreas, una zona al oeste con geodiversidad media a muy alta, una zona en la parte central del estado en donde los valores de geodiversidad van de media a muy baja y una tercera zona, en la parte de menor altura y hacia la zona costera en donde la geodiversidad tiene valores nuevamente de media a muy alta.

La zona de altitudes entre los 20 y 70 msnm presenta valores de geodiversidad bajos y muy bajos, esta zona homogénea se encuentra sobre parte interior de la formación geológica más extensa del Estado (del Plioceno), lo suficientemente alejada de la costa para no tener fuerte influencia de ella y con una pendiente tal que permite que el agua escurra y no se acumule por lo cual no hay la abundancia de cuerpos de agua expuestos de otras zonas.

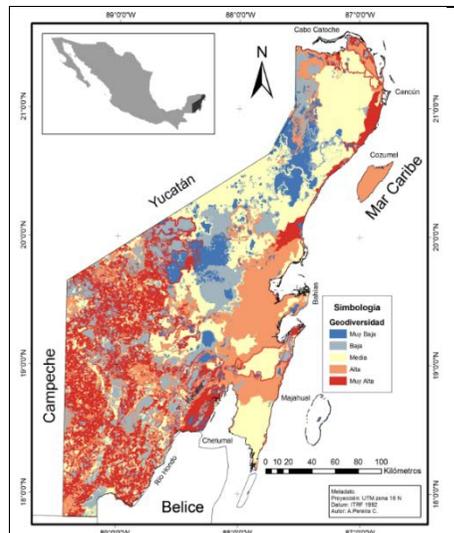


Figura 1. Geodiversidad en Quintana Roo

La zona al este, con las menores energías de relieve, es una zona donde nuevamente hay geodiversidad media a muy alta, en este espacio hay una gran cantidad de cuerpos de agua formados por la disolución de la roca calcárea y la poca profundidad del manto freático; la misma karsticidad permite la formación de formas negativas de relieve en las cuales la acumulación de materiales permite el desarrollo de suelos más profundos creando una zona rica en depósitos aluviales, eólicos y lacustres.

En las zonas cercanas a la costa los depósitos lacustres, palustres y litorales desarrollan ambientes de transición mar-tierra como los humedales con suelos y vegetación característicos que aumentan la geodiversidad de la zona costera.

La utilización del término geodiversidad es mayor cada día, pero las metodologías para su evaluación y valoración aún son limitadas; muchos de los estudios utilizan métodos cualitativos en los cuales la delimitación de las unidades geomorfológicas y el inventario de los componentes de la geodiversidad son valorados en algún intervalo de manera frecuentemente subjetiva.

En este trabajo la escala de cinco clases usada en cada uno de los componentes basado en el número de atributos diferentes de cada uno, hizo posible comparar en la misma escala atributos que pueden tener un número variable de manifestaciones y permitió comparar las diferentes zonas del Estado de manera objetiva independientemente de la percepción que se tenga de ellas.

En este caso el usar el algoritmo de intervalos naturales de Jenks (1977) permitió que los valores obtenidos no se concentraran en los valores extremos, lo cual podría causar malinterpretaciones tanto con los valores de muy alta geodiversidad como con los de muy baja, quedando distribuido en función de los valores sobre los que se concentran las mayores frecuencias en los datos.

Si bien existen índices y modelos más finos que la simple riqueza de atributos para medir la diversidad, ellos requieren de información que en muchos casos no existe para el territorio nacional. En comparación, el conteo simple proporciona una mayor certidumbre ya que, independientemente de la abundancia relativa del atributo, se tiene la certeza de su existencia, eso permite ganar certidumbre en los análisis a pesar de la falta de detalle de la información.

La energía del relieve de la Península de Yucatán es escasa cuando se compara con otras zonas, en las cuales el vulcanismo y procesos tectónicos generan estructuras y paisajes más agrestes, por ello el macizo kárstico de la Península de Yucatán se ha considerado mucho tiempo como una estructura relativamente homogénea, según Lugo *et al.* (1992).

Debe aclararse que es una comparación de objetos de distinta naturaleza ya que la Península es un depósito sedimentario mientras otras regiones son producto de procesos orogénicos más intensos y de mayor energía. Por otro lado, la comparación se hace con criterios desarrollados para espacios de escala nacional o continental, no a escala regional.

Esta percepción que se basa en análisis a escalas pequeñas, cambia al revisar los niveles de diversidad encontrados en los cuatro aspectos analizados en el presente estudio; la imagen de homogeneidad y la existencia de una gran biodiversidad protegida en varias ANP según Prezas (2011), son conceptos que se contradicen.

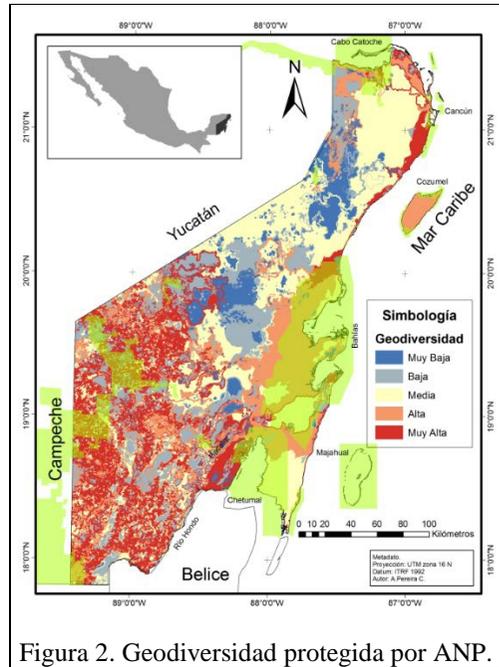
Los OET privilegian con políticas de protección y conservación sitios que no han sido objeto de la atención inmediata ni de grupos ambientalistas ni de la CONANP o la SEMARNAT.

Como se puede ver de las figuras 2 y 3, las ANP están privilegiando la protección de los sistemas costeros, lo cual es consistente con la respuesta de grupos ambientalistas ante la presión que genera el acelerado desarrollo turístico en el norte del Estado.

De acuerdo con Escalante *et al.* (2007), un ambiente poco diverso con condiciones climáticas relativamente homogéneas, no conduce a la existencia de dicha riqueza y biodiversidad. Según Burnett *et al.* (1998) y Nichols *et al.* (1998); "Los paisajes compuestos de condiciones abióticas espacialmente heterogéneas deberían proveer una gran diversidad de nichos potenciales para plantas y animales comparados con los paisajes homogéneos".

Al mismo tiempo la relativa estabilidad climatológica, genera condiciones para que la heterogeneidad espacial se manifieste, los mismos autores indican "... existe una asociación íntima entre diversidad biótica y abiótica, teniendo implicaciones significativas en las estrategias de conservación a largo plazo".

De acuerdo con Serrano y Ruiz (2007) y Carcavilla *et al.* (2008) el concepto de geodiversidad debe ser de utilidad para la identificación de



ambientes o paisajes con alta diversidad biológica como lo muestran los trabajos de Priego *et al.* (2003) y Gámez *et al.* (2012).

La relación manifiesta entre la geodiversidad y la biodiversidad como conceptos síntesis de la cantidad, variedad y calidad de atributos abióticos y bióticos respectivamente, muestra la influencia que tienen la una en la otra. La relación en este caso es básicamente unidireccional, ya que los tiempos de cambio para cada componente son diferentes.

Al poner en orden creciente la velocidad de cambio de cada componente, se manifiesta la direccionalidad de los cambios y sus relaciones; desde el cambio geológico que toma millones de años, pasando por los geomorfológicos, los hidrológicos y edafológicos hasta los biológicos que toman solo cientos de años.

Así, la cobertura biológica es la más fuertemente afectada por los otros componentes, y la misma, escasamente puede afectarlos conforme nos alejamos en la escala temporal. Entonces las interacciones más fuertes se dan entre los aspectos biológicos con los edafológicos e hidrológicos, siendo muy escaso su efecto sobre los componentes geológicos y geomorfológicos.

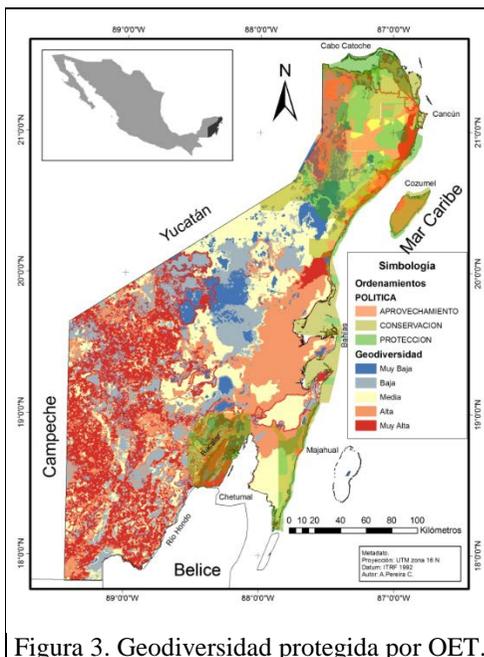


Figura 3. Geodiversidad protegida por OET.

Estas relaciones son importantes para el manejo del territorio en vista de la capacidad que tiene nuestra especie para modificar estos componentes del paisaje, la ocupación de los valles con actividades agrícolas, el reencauzamiento de ríos, la contaminación de suelos y la deforestación, son actividades imprescindibles para mantener a la población pero, modifican fuertemente los componentes más dinámicos del sistema.

En general se pueden agrupar las actividades del hombre en dos categorías opuestas y complementarias, el aprovechamiento del territorio con actividades extractivas y de producción y las actividades de conservación de dicho territorio. En México las primeras pretenden ser reguladas con los OET y las segundas con las ANP.

Los OET en México contemplan no solo el aprovechamiento del territorio y sus recursos, sino también la protección de los mismos mediante políticas que van desde la protección más extrema, hasta la restauración de sitios que se consideran como importantes y que ya han sido impactados por

el desarrollo, en el cuadro 1 se reportan las superficies consideradas para un cuidado especial mediante la aplicación de políticas específicas en los ordenamientos vigentes en el estado de Quintana Roo.

Cuadro 1. Superficie destinada a alguna forma de conservación por política en los OET vigentes en Quintana Roo. (superficie en hectáreas) (<i>Elaboración propia</i>)					
Geodiversidad	Cons.	Pres.	Prot.	Rest.	Total
Muy baja	50790.60	41346.60	19679.01	704.73	112520.94
Baja	62823.07	8089.60	41106.45	949.89	112969.01
Media	216641.34	40937.45	164149.90	30757.28	452485.97
Alta	66572.16	299.79	94669.35	35.41	161576.70
Muy alta	84518.13	619.76	84854.14	4865.58	174857.60
Totales	481345.30	91293.20	404458.85	37312.88	1014410.23
Cons. =Conservación; Pres. =Preservación; Prot. =Protección; Rest. =Restauración					

Los resultados muestran una ligera diferencia entre las superficies con alta geodiversidad reguladas por uno u otro instrumento. Al restar las superficies que están consideradas en ambos instrumentos, la superficie protegida por los OET es de 880102.64 ha. en tanto que para las ANP es de 789426.22 ha. la diferencia de poco más de 90,000 ha se ubica principalmente en zonas de geodiversidad baja y muy baja debido a que en los OET estas zonas se consagran a la realización de actividades productivas de las así llamadas amigables con el ambiente y por lo tanto se les asignan políticas de conservación.

Prezas (2011) reporta 23 ANP para Quintana Roo, las cuales revelan la existencia de una riqueza biológica congruente no solo con el número, sino con la extensión de ellas en tanto que el presente trabajo pone de manifiesto la relación que existe entre las zonas consideradas como de alta biodiversidad con las correspondientes de alta geodiversidad.

Cuadro 2. Comparación de las superficies protegidas por OET, ANP y ambos instrumentos en Quintana Roo.(superficie en hectáreas) (<i>Elaboración propia</i>)			
Geodiversidad	OET	ANP	Ambos
Muy baja	112520.94	21780.21	9507.31
Baja	112969.01	77731.14	13786.79
Media	452485.97	242332.10	37158.59
Alta	161576.70	364727.38	40804.10
Muy alta	174857.60	217162.98	33050.79
Totales	1014410.23	923733.81	134307.59
OET= Ordenamiento Ecológico Territorial; ANP= Área Natural Protegida			

Al sobreponer los límites de las ANP existentes en el Estado se ve que efectivamente para la mayor parte de ellas la elección de sitios con altas biodiversidades ha coincidido con sitios en los cuales la Geodiversidad es igualmente alta, sin embargo la superficie de geodiversidad media protegida

es menor en el caso de las ANP que la protegida por las políticas de protección, preservación y conservación de los OET (Figura 4, cuadro 2).

El punto anterior resulta relevante al considerar las características diferenciales que tienen los OET y las ANP, en el primero de los casos el objetivo de planeación incluye la construcción de estrategias y actividades alternativas que permitan el mantenimiento de la población en la zona sujeta a ordenamiento; en el segundo caso las ANP se enfocan fundamentalmente en la protección de los recursos naturales relegando a un segundo plano las actividades productivas de los habitantes de la región o en el mejor de los casos a supeditarlas a la conservación de dichos recursos.

El análisis anterior lleva a considerar que existe una complementariedad de ambos instrumentos y que la sobreposición de los mismos lejos de representar una sobrerregulación del territorio permite el establecimiento de zonas de amortiguamiento alrededor de las ANP mediante la aplicación de políticas, criterios y lineamientos ecológicos en los OET.

Queda pendiente el punto sobre la congruencia entre las zonificaciones producidas con las técnicas habituales para los OET y aquellas derivadas de indicadores complejos o de procesos como la geodiversidad, sin embargo, los resultados presentados en este trabajo ponen ya de manifiesto algunos aspectos en cuanto al uso de estos indicadores para mejorar los procesos de zonificación en los OET.

Conclusión

La metodología empleada en este trabajo permitió la construcción de un mapa de geodiversidad del Estado poniendo de manifiesto algunas incongruencias existentes en la zonificación propuesta para los OET.

Se identificaron tres grandes áreas: una zona al oeste del Estado con valores de geodiversidad de media a muy alta, una en la parte central con geodiversidad de media a muy baja y una tercera zona, de menor altura y hacia la zona costera del Estado en dónde la geodiversidad tiene valores medios a muy altos.

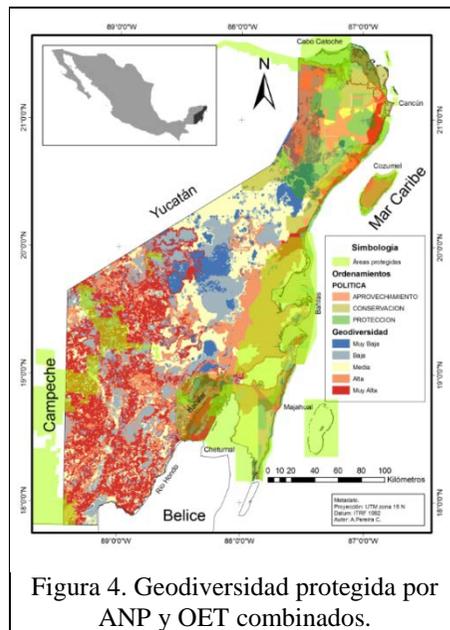


Figura 4. Geodiversidad protegida por ANP y OET combinados.

La Geodiversidad está íntimamente relacionada con la biodiversidad a través de la relación sinérgica de los componentes de la primera tal como lo ponen de manifiesto el gran número y la extensión de las ANP decretadas para el Estado de Quintana Roo.

La imagen de la península de Yucatán como una plataforma kárstica relativamente homogénea cambia cuando se analizan las características fisiográficas y biológicas a escalas medias y grandes que son las más indicadas para la valoración de los recursos naturales, su manejo y conservación.

A pesar de sus diferencias en objetivos y alcances, las ANP y los OET son instrumentos necesarios y complementarios para el aprovechamiento racional y la conservación de la Geodiversidad y la Biodiversidad del Territorio. En particular debido a la protección que brindan los OET a zonas que se encuentran fuera de las ANP y que pueden ser valiosas al considerar la creación de conectores o corredores biológicos para la protección de los recursos naturales.

En este sentido se hace necesario un esfuerzo mayor para coordinar la elaboración y articulación operativa de los mismos.

Agradecimientos

Se agradece las facilidades dadas para el uso de la información cartográfica del Estado de Quintana Roo al Proyecto "Elaboración del Programa Estatal de acción ante el Cambio Climático" de la Universidad de Quintana Roo y AECID-INECC.

Referencias:

- Bautista-Zuñiga, F., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J. J., y González-Iturbe, J. A. (2004). Relación entre el relieve y unidades de suelo en zonas cársticas de Yucatán. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 243–254.
- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O., & Meza, P. (2009). Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(10), 1433–1445.
- Burnett, M. R., August, P. V., Brown, J. H., Jr, & Killingbeck, K. T. (1998). The Influence of Geomorphological Heterogeneity on Biodiversity I. A Patch-Scale Perspective. *Conservation Biology*, 12(2), 363–370. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.96238.x>
- Cantú, C., Gerald Wright, R., Michael Scott, J., & Strand, E. (2004). Assessment of current and proposed nature reserves of Mexico based on their capacity to protect geophysical features and biodiversity. *Biological Conservation*, 115(3), 411–417. [http://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00158-7](http://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00158-7)

- Carcavilla, L., Durán, J. J., y López-Martínez, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10, 1299–1303.
- Cotler A., H. (2003). El uso de la información edáfica en los estudios ambientales. *Gaceta Ecológica*, (68), 33–42.
- Escalante, T., Szumik, C., & Morrone, J. J. (2007). Áreas de endemismos de los mamíferos de México: Reanálisis y comparación con estudios previos. *Darwiniana*, 45(Sup), 41–43.
- Fragoso Servón, P. (2015, February). Análisis espacial de los suelos de Quintana Roo con un enfoque Geomorfoedafológico (Ph.D.). Universidad de Quintana Roo, Chetumal, México.
- Fragoso-Servón, P., Pereira, A., Frausto, O., & Bautista, F. (2015). Geodiversity of a Tropical Karst Zone in South-East Mexico. In B. Andreo, F. Carrasco, J. J. Durán, P. Jiménez, & J. W. LaMoreaux (Eds.), *Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems* (pp. 609–618). Springer Berlin Heidelberg.
- Fragoso S., P., Pereira, A., Frausto, O., y Bautista, F. (2014). Relación Entre La Geodiversidad De Quintana Roo Y Su Biodiversidad. *Quivera*, 16(1), 97–125.
- Frausto, O., & Ihl, T. (2010). Vulnerabilidad a La Inundación En Las Formas Exocarsticas Del Noreste De La Península De Yucatan (p. 16). Presented at the VI Seminario Latino-Americano de Geografía Física II Seminario Ibero-Americano de Geografía Física, Universidade de Coimbra. Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M., & Morrone, J. J. (2012). Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(1), 258–272.
- Gobierno de la República. Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. (2011).
- Gray, M. (2008). Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, 119(3–4), 287–298. [http://doi.org/10.1016/S0016-7878\(08\)80307-0](http://doi.org/10.1016/S0016-7878(08)80307-0)
- Ibáñez Martí, J. J., y García Alvarez, A. (2002). Diversidad: biodiversidad edáfica y geodiversidad. *Edafología*, 9(3), 329–385.
- Jačková, K., & Romportl, D. (2008). The relationship between geodiversity and habitat richness in Šumava national park and Křivoklátsko Pla (Czech Republic): a quantitative analysis approach. *Journal of Landscape Ecology*, 1(1), 23–38.
- Jenks, G. (1977). Optimal data classification for choropleth maps. University of Kansas Dept of Geography.
- Kozłowski, S. (2004). Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny*, Vol. 52(nr 8/2), 833–83.

- Lugo Hubp, J., Aceves Quesada, J. F., & Espinasa Pereña, R. (1992). Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán. *Revista Del Instituto de Geología. UNAM*, 101(2), 143–150.
- Nichols, W. F., Killingbeck, K. T., & August, P. V. (1998). The Influence of Geomorphological Heterogeneity on Biodiversity II. A Landscape Perspective. *Conservation Biology*, 12(2), 371–379. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.96237.x>
- Parks, K. E., & Mulligan, M. (2010). On the relationship between a resource based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. *Biodiversity and Conservation*, 19(9), 2751–2766. <http://doi.org/10.1007/s10531-010-9876-z>
- Pereira C., A. (2012, October 26). Ordenamiento ecológico y territorial en México; revisión de algunos elementos metodológicos y conceptuales. (MSC). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, México.
- Pereira C., A., Prezas H., B., Olivares M., J. A., Fragoso S., P., & Niño T., C. A. (2013). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (Quintana Roo) - Statewide Program of Action on Climate Change (Quintana Roo). (Alessio Zanier Visintin, Trans.) (1st ed.). Quintana Roo, México: Universidad de Quintana Roo.
- Pike, R. J. (2000). Geomorphometry-diversity in quantitative surface analysis. *Progress in Physical Geography*, 24(1), 1–20.
- Prezas, B. (2011). Áreas naturales protegidas en Quintana Roo. In *Riqueza biológica de Quintana Roo: un análisis para su conservación* (1. ed, pp. 300–309). México, D.F.: San Cristóbal de Las Casas, Chiapas: Chetumal: Mérida, Yucatán, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio); Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR); Gobierno del Estado de Quintana Roo; Programa de Pequeñas Donaciones-México.
- Priego Santander, Á., Bocco, G., Mendoza, M. E., & Garrido, A. (2010). Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes (1st ed.). México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- Priego Santander, Á., Moreno Casasola, P., Palacio Prieto, J. L., López Portillo, J., & Geissert Kientz, D. (2003). Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado de Veracruz, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, (52).
- Redford, K. H. (2000). *Conservation in the Context of Tropical Forest Management*. Serrano Cañadas, E., & Ruiz Flaño, P. (2007). Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial: el caso de Tiernes Caracena (Soria). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (45), 79–98.

- Sierra López, N., Zizumbo Villarreal, L., Tonatiuh Romero Contreras, & Neptalí Monterroso Salvatierra. (2011). Ordenamiento territorial, turismo y ambiente en Valle de Bravo, México. Cuadernos Geográficos de La Universidad de Granada, (48), 233–250.
- Takagi, M., & Shibasaki, R. (1996). An interpolation method for continental DEM generation using small scale contour maps. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 31, 847–852.
- Troitiño Vinuesa, M. A. (1995). Espacios naturales protegidos y desarrollo rural: una relación territorial. Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles, (20), 23–37.
- Villegas, G. P., & GY, E. C. (2000). El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo y sus consecuencias sobre la cubierta vegetal. Investigaciones Geográficas, (43), 145–156.
- Xavier-da-Silva, J., & de Carvalho-Filho, L. M. (2004). Geodiversity: Some simple geoprocessing indicators to support environmental biodiversity studies. Directions Magazine, 1–4.
- Zwoliński, Z. (2010). The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. Landform Analysis, 11, 77–85.
- Zwoliński, Z., & Stachowiak, J. (2012). Geodiversity map of the Tatra National Park for geotourism. QUAESTIONES GEOGRAPHICAE, 31(1), 99–107.