

Dinámica del paisaje e indicadores fractales del cambio de uso-cobertura en isla San Lucas en 1972-2006

JOSÉ CASTRO y JOSÉ PABLO CARVAJAL

Por lo general, los estudios enfocados en procesos de fragmentación, cambio de uso-cobertura o recuperación de vegetación se realizan en sitios dentro de las plataformas continentales e islas de gran tamaño, donde existe una gran cantidad de variables bióticas y abióticas que influyen y afectan esos distintos procesos. Es así que se encuentra poca literatura e investigaciones sobre el tema de dinámicas de pérdida y recuperación de bosques en islas oceánicas (Guevara 2005), especialmente las de tamaño reducido, con pasada presencia de seres humanos y actualmente deshabitadas. Ése es el caso de isla San Lucas (9°57' 0" N, -84°54'0" W), ubicada en la costa oeste de Costa Rica, en la parte media del golfo de Nicoya, aproximadamente 7 km al este de Punta Arenas, con una extensión aproximada de 434 ha y una topografía mayoritariamente plana (Rodríguez 1989, Sáenz 1990). De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978), se encuentra dentro del bosque seco tropical, transición a húmedo (Rodríguez 1989, Minae 2005), presentando dos estaciones climáticas bien definidas, la lluviosa de mayo a noviembre y la seca de diciembre a abril, así como una precipitación media anual de 1.595 mm y una temperatura media anual de 27° C.

En la isla San Lucas se estableció un centro penitenciario que funcionó aproximadamente 120 años, hasta 1991, siendo en 2001 declarada *refugio de vida silvestre*. En ese período de actividades humanas se afectó fuertemente la composición, la dinámica y la estructura del bosque natural, por lo que se consideró oportuno -relacionado eso con la poca información sobre las dinámicas de recuperación de especies vegetales en islas- realizar un estudio sobre los procesos de degradación y recuperación del ecosistema -por medio del uso de sistemas de información geográfica (*sig*)- para así comprender los aspectos ecológicos que incidieron en la sucesión secundaria de las masas boscosas allí presentes (Farina 2000, Turner *et al.* 2001). Los objetivos del estudio emprendido fueron: describir la evolución de los tipos de hábitat durante los últimos 30 años en isla San Lucas y determinar la distribución espacial y el tamaño de los distintos tipos

de cobertura presentes actualmente ahí, con el propósito de generar un mapa de uso actual.

Para la creación y el desarrollo de los distintos usos-coberturas pasados y presentes dentro del actual Refugio Nacional de Vida Silvestre Isla San Lucas se generó la cartografía base. Este proceso incluyó la utilización de fotografías aéreas pancromáticas del Instituto Geográfico Nacional correspondientes a los años 1972, 1982 y 1990, del proyecto Ceniga-Terra en color verdadero de 1997 y la misión Carta en infrarrojo para 2003 y 2005. En la preparación del material se utilizó el programa Ilwis v 3.2 Academic (ITC, RSG/GSD 2005) para el proceso de ortorrectificación de las fotografías, en el cual para los años 1997 y 2003 se trabajó con orientación interna, donde el error no superó un píxel y en general el valor de sigma (RMS) no sobrepasó los 10 metros. El modelo de elevación digital (MED) para ésta operación se construyó a partir de curvas de nivel escala 1:25.000 de Ceniga (Recope-Minae 1997-1998), con el programa ArcView v3.3 (ESRI 2002) con la extensión 3D Analyst v1.0 (ESRI 1999). El marco de referencia utilizado fue generado a partir de la fotografía Carta 2003 y cartografía de referencia fueron las hojas cartográficas 3245 IV Ne, Nw y Sw, de Ceniga (Recope-Minae 1997-1998), escala 1:25.000.

El desarrollo de los distintos tipos de cobertura y uso para todos los años se realizó con ArcView (GIS) v. 3.3, utilizando la herramienta MNDNR Stream Digitizing v1.06 (Loesch y Pouliot 2000); adicionalmente, se digitalizaron los caminos visibles. Para todo el proceso se trabajó con proyección Lambert Norte, Ocotepeque.

La verificación de campo y muestreo de tipos de vegetación se realizó entre el 18 y el 25 de abril de 2006, utilizando un georreceptor de sistema de posicionamiento global (*spg*) con el que se realizaron transectos de longitud variable en distintas zonas de la isla. Se registró el tipo de vegetación, así como transiciones.

Con el *spg* se georreferenciaron árboles remanentes de grandes dimensiones, frutales y pozos, además

de la presencia de rodales puros (áreas boscosas con una sola especie), caminos transitables y zonas de elevación. Se definieron cuatro tipos de cobertura para generar una caracterización general sobre la vegetación, la cual fue utilizada para la construcción de la base de datos espacial: tipo 1: áreas abiertas con árboles y pasto, tipo 2: sitios con árboles con diámetros a la altura de pecho de entre 5 y 10 cm y alturas de entre 6 y 8 m, tipo 3: vegetación siempreverde y tipo 4: vegetación de manglar.

Para el análisis de paisaje se trabajó con la herramienta Patch Analyst (GRID) v3.1 (Rempel 2007) para ArcView v3.3 (ESRI 2002), utilizando la opción de Spatial Statistics (Fragstats Interfase). Este análisis se efectuó a nivel de paisaje calculando número de parches (NUMP), tamaño medio de parche (MPS), dimensión fractal ponderada (AWMPFD), índice de distribución y abundancia de Shanon (SEI) e índice del parche más grande (LPI).

Del estudio de los cambios en uso-cobertura en el Refugio de Vida Silvestre San Lucas se puede extraer que existen dos períodos importantes: el primero que abarca desde 1972 a 1990, durante el funcionamiento del penal, y el segundo que va de 1997 hasta 2005, en el que la presencia humana en el sitio es prácticamente nula (cuadro 1). Es así que se obtuvo que los cambios en vegetación para el primer período son bastante pequeños, en comparación con el segundo. El bosque caducifolio en sucesión en 1972 constituía aproximadamente el 26,1% de área total de la isla, aumentando a un 31,3% y a un 34,9% en 1982 y 1990 respectivamente, lo que significa que esa cobertura se incrementó aproximadamente un 33,9% durante el periodo. Por su parte, los pastos con árboles representaban más de la mitad del área en 1972 (aproximadamente un 54,5%), tendencia que se mantuvo relativamente invariable hasta 1990, oscilando entre 51,5% (1982) y 46,5% (1990), reduciéndose esa cobertura durante la primera mitad del periodo en estudio en 14,6% aproximadamente. El bosque siempreverde se mantuvo relativamente estable hasta 1990, presentando valores de extensión en área de 6,8%, 8,1% y 8,8% en 1972, 1980 y 1990 respectivamente. Siendo que para el primer periodo esta categoría tuvo un aumento aproximando de 28%. Los pastos sin cobertura se extendían por la isla en 1972 en un 4,4%, pero en los siguientes años se redujeron a 1,0% (1982) y a 0,7% (1990) aproximadamente. O sea, este uso-cobertura se redujo en 83,6% aproximadamente. Para finalizar el primer período, los manglares presentaban extensiones entre 0,8 (1972 y 1990) y 0,5 (1982), aumentando 9% de su extensión. La vegetación de acantilado ocupaba un área oscilante entre 2,5% (1972 y 1982) y 3,2% (1990), lo que representa un incremento de 31,1%. Otras coberturas como playas y cultivos se mantuvieron poco cam-

biantes, en 4% aproximadamente, igual que la infraestructura (cuadro 1).

Cuadro 1. Extensión de ocho categorías de uso-cobertura entre 1972 y 2005 en San Lucas.

Uso-cobertura	1972	1982	1990	1997	2003	2005
Bosque caducifolio en sucesión	114,76	137,89	153,68	274,68	352,54	352,54
Bosque siempreverde	30,25	35,90	38,83	31,25	46,67	46,67
Manglar	3,57	2,55	3,90	5,23	6,77	6,89
Infraestructura	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
Pasto	19,65	4,61	3,23	0,00	0,00	0,00
Pasto con árboles	239,94	226,49	204,82	101,52	6,87	6,87
Vegetación de acantilado	11,02	10,97	14,44	12,07	12,07	12,07
Otras coberturas*	19,10	19,88	19,40	13,55	13,37	13,26

* Área inundada, cultivos, laguna, árboles de Panamá, playas.

En el segundo periodo el bosque caducifolio en sucesión presenta una extensión que sobrepasa la mitad del área total de la isla: 62,4% (1997) y sigue en aumento hasta el final del período: 80,1% (2003 y 2005), lo que significa un crecimiento aproximado para ese periodo de 28,3%. Debido al cierre del penal en 1991, los pastos con árboles tienden a desaparecer: en 1997 ocupaban el 23% y al final del período (2003 y 2005) aproximadamente el 1,5%, presentando una disminución cercana al 93,2%. Los pastos desaparecieron completamente. El bosque siempreverde se reduce entre 1990 y 1997, pero aun así presenta un área aproximada de 7,1% de la superficie total de la isla, y de 10,6% en 2003 y 2005, aumentando así su extensión en 49,3%. La extensión del manglar en 1997 era de 1,1%, pasando en 2003 y 2005 a aproximadamente el 1,5%, aumentando así en el periodo un 31,7%, lo que no sucedió con la vegetación de acantilado que, luego de disminuir su presencia entre 1990 y 1997 a una extensión de 2,7%, no mostró ninguna variación adicional. Otras coberturas también presentaron una disminución en extensión entre 1990 y 1997, representando un 3%, y sin tener mayor cambio posterior.

Para la configuración espacial a nivel de paisaje de San Lucas en los distintos periodos de tiempo estudiados (cuadro 2) se obtuvo que el número de parches (NUMP) entre 1972 y 1990 osciló entre 195 y 222; reduciéndose en el periodo 1997-2005 a 130 y 122. La relación del tamaño medio de los parches en

hectáreas (MPS) muestra para el primer período valores de 2,25, 1,92 y 1,98 hectáreas para 1972, 1982 y 1990 respectivamente, pero de 1997 a 2005 estos valores aumentan de 3,57 a 3,60 hectáreas (cuadro 2).

Cuadro 2. Cálculo de métricas a nivel de paisaje entre 1972 y 2005 en San Lucas.

Año	NUMP	MPS (ha)	AWMPFD	SEI	LPI (%)
1972	195,00	2,25	1,20	0,45	30,90
1982	229,00	1,92	1,21	0,45	28,53
1990	222,00	1,98	1,21	0,45	25,94
1997	130,00	3,38	1,19	0,40	36,03
2003	123,00	3,57	1,18	0,28	43,42
2005	122,00	3,60	1,18	0,28	43,42

La dimensión fractal ponderada (AWMPFD) muestra valores de complejidad paisajística muy similares a lo largo de todo el período estudiado, entre 1,18 y 1,21. Si el índice de distribución y abundancia de Shanon (SEI) presenta valores más diversos para el período 1972-1997: entre 0,40 y 0,45, no así sucede en los dos últimos años, los cuales reportan 0,28. Finalmente, el índice del parche más grande (LPI) muestra que el porcentaje representado por el parche de mayor área dentro de la isla disminuye entre 1972 y 1990 de 30,9 a 25,9%, pero esta tendencia se revierte entre 1997 y 2005, oscilando entre 36,0% y 43,4% (cuadro 2). Así (figura 1), los vectores de las métricas que mejor explican el comportamiento entre 1972 y 1990 son NUMP, SEI y AWMPFD; entre 1997 y 2005 son las métricas de LPI y MPS.

El proceso de recolonización de especies forestales en San Lucas se inició a mayor escala luego de 118 años de actividades humanas dentro del sitio, por lo que entre 1972 y 1990 el desarrollo del bosque caducifolio en sucesión y del bosque siempreverde fue muy lento. A partir del cierre del penal en 1991, la recuperación vegetal dentro de la isla se incrementó notablemente, desarrollándose el proceso desde las zonas sur y este como fuentes semilleras, jugando un papel los árboles utilizados como cercas vivas y las masas boscosas ubicadas cerca de las quebradas. Estudios realizados en islas Canarias (Arévalo *et al* 2008), República Dominicana (Martin *et al* 2004) y Palaos (Endress y Chinaea 2001) muestran que la recuperación de especies se debe a factores edáficos, en los que la variación de nutrientes, materia orgánica y valores de pH puede determinar la velocidad de recuperación y de individuos que se pueden regenerar.

Asimismo, se debe considerar que ciertos elementos, como los niveles de compactación del suelo por la actividad ganadera, tienen una fuerte influencia

sobre los procesos de regeneración (Aide *et al* 1995, Martin *et al* 2004). Por otro lado, aun cuando San Lucas presenta una topografía relativamente plana, se ha demostrado que factores como la pendiente pueden afectar en forma positiva o negativa la recolonización de las especies (Endress y Chinaea 2001, Zang y Ding 2009).

Se obtuvo que la mayor presencia de especies forestales mapeadas dentro de la isla pertenecían a la familia Fabaceae, con un 24,73% (Bustamante *et al* 2006), las cuales tienen su estrategia de dispersión por medio del viento. En bosques secos tropicales se ha determinado que la estrategia de dispersión de semillas de las especies de árboles con copa es por medio del viento: 63% de las especies en Bolivia, 45% en Brasil central, 33% en Brasil norte, 30% en Costa Rica (Viera y Scario 2006) y en San Lucas aproximadamente 14%. De esta forma se explica la presencia generalizada de rodales puros de ciertas especies dentro del sitio. Resultados similares se obtuvieron en Puerto Rico en áreas de recuperación de pastos en bosque seco subtropical (Colón y Lugo 2006), donde presentaba dominancia de especies la familia Fabaceae. Asimismo, Aide *et al* (1995) reportan que en los primeros 15 años de recuperación en áreas de pastos abandonados la riqueza de especies es relativamente baja; pero estudios de cronosecuencia del bosque seco tropical de la isla Providencia en Colombia muestran que el aumento de la riqueza es proporcional al paso de los años (Ruiz *et al* 2006).

En el caso del bosque siempreverde se obtuvo que aun cuando se mantuvo relativamente constante el área se presentaron algunas fluctuaciones, especialmente en 1997. Estudios realizados por Sánchez *et al* (2009) en los bosques siempreverdes de Cuba muestran que factores como el agua disponible, la materia orgánica y la masa fresca de la semilla determinan el éxito de germinación de las especies.

En el proceso de dispersión de semillas para la regeneración vegetal de isla San Lucas se reporta la presencia de actores animales importantes: aproximadamente siete especies de mamíferos (Hermes *et al* 2006), 40 especies de aves (Rangel y Barrantes 2006), siete especies de murciélagos (Gálvez y Carvajal 2006) y una especie de mono (Rosales 2006). Arteaga *et al* (2006) encontraron que la dispersión de semillas en las "islas de bosque" en Bolivia por aves y murciélagos son fundamentales para la continuidad de procesos ecológicos debido a que presentan un rango más amplio de distribución. De igual forma, los procesos de recuperación de los bosques secos están directamente relacionados con los factores de humedad y de especies mejor adaptadas, de disposición en el espacio, de tiempo, de disponibilidad y de requerimientos de germinación de las semillas (Verheyen *et al* 2003, Lebrija *et al* 2008), así como del efecto de plantas invasoras (Schofield 1989, Márquez

2003) y de distancia de los bosques fuente (Endress y Chiena 2001).

Como ya se dijo, el comportamiento del paisaje en San Lucas se puede dividir en dos momentos: (1) El primero, que va de 1972 a 1990, en el que se muestra un paisaje con un número creciente de parches, lo que indica diferentes usos-coberturas en forma aislada o, explicado en otra forma, el paisaje se encuentra más fragmentado, como lo indican los valores del MPS, y por consiguiente es más diverso, como lo demuestra el SEI; aun así se observa que el parche más grande (pastos con árboles) tiende a disminuir su extensión, lo que significa que existen otros usos-coberturas que están desarrollándose, generando un paisaje más complejo, explicado por los valores del AWMPFD. (2) El segundo momento, que va de 1997 a 2005, en que las tendencias se revierten, se caracteriza por que disminuye el número de parches, indicando esto que los paisajes se encuentran menos fragmentados (MPS), pero a la vez se vuelven menos diversos (SEI) y complejos (AWMPFD), lo cual se explica además, nuevamente, por el LPI (bosque caducifolio en sucesión), el cual prácticamente cubre toda la isla.

El patrón de desarrollo y recuperación de la vegetación dentro de San Lucas es muy similar a otros procesos estudiados dentro de las plataformas continentales en Costa Rica (Calvo *et al.* 1999, Sánchez *et al.* 2002, Arroyo *et al.* 2005, Joyce 2006, Castro 2008). Aun así, un punto sobresaliente del estudio de la regeneración de la vegetación en San Lucas es que no existe un factor humano que determine o modifique este proceso.

Referencias bibliográficas

Aide, T. *et al.* "Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico", en *Forest Ecology and Management* 77, 1995.

Arévalo, J. *et al.* "Laurel forest recovery during 20 years in an abandoned firebreak in Tenerife, Canary Islands", en *Acta Oecologica* 33, 2008.

Arroyo, J. *et al.* "Dynamics in landscape structure and composition for the Chorotega Region, Costa Rica from 1960 to 2000", en *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1 (106), 2005.

Arteaga, L., L. Aguirre y M. Moya. "Seed Rain Produced by Bats and Birds in Forest Islands in a Neotropical Savanna", en *Biotropica* 38(6), 2006.

Bustamante, A. *et al.* "Estructura y composición de la vegetación en San Lucas", en *Ambientales* 32, 2006.

Calvo, J. C. *et al.* "Estudio de Cobertura Forestal de Costa Rica empleando Imágenes Landsat 1986/87 y 1996/97", en *XI Congreso Nacional Agronómico 1999. Conferencia 96*.

Castro, J. 2008. *Dinámicas en el cambio de uso-cobertura del suelo desde 1945 a 2005 y recuperación de bosques secundarios en un agro - paisaje de Esparza y Montes de Oro, Pacífico Central de Costa Rica*. Tesis de Maestría en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional. Costa Rica.

Colón, S. y A. Lugo. "Recovery of a subtropical dry forest after abandonment of different land uses", en *Biotropica* 38(3), 2006.

Endress, B. y J. Chiena. "Landscape Patterns of Tropical Forest Recovery in the Republic of Palau", en *Biotropica* 33(4), 2001.

Farina, A. 2000. *Principles and Methods in Landscape Ecology*. Kluwer Academic Publishers. Holanda.

Gálvez, R. y J. Carvajal. "Riqueza y abundancia relativa de murciélagos en isla San Lucas", en *Ambientales* 32, 2006.

Guevara, J. 2005. *Changes in land use and cover in archipelago Las Perlas: A proposal for a protected area*. Tesis de Maestría en Desarrollo y Protección de Recursos Marinos, Universidad Heriot - Watt. Edimburgo.

Hermes, M. *et al.* "Riqueza y distribución de mamíferos medianos y grandes en San Lucas", en *Ambientales* 32, 2006.

Holdridge, L. 1978. *Ecología y zonas de vida*. IICA. San José.

Joyce, A. 2006. *Land use change in Costa Rica: 1966-2006, as influenced by social, economic, political and environmental factors*. Lil. San José.

Lebrija, E. *et al.* "Successional Change and Resilience of a Very Dry Tropical Deciduous Forest Following Shifting Agriculture", en *Biotropica* 40(4), 2008.

Márquez, C. *et al.* "¿Por qué tan pocas opuntia en la isla Española - Galápagos?", en *Ecología Aplicada* 2(1), 2003.

Martin, P., R. Sherman y T. Fahey. "Forty Years of Tropical Forest Recovery from Agriculture: Structure and Floristics of Secondary and Old-growth Riparian Forests in the Dominican Republic", en *Biotropica* 36(3), 2004.

Minae. 2005. *Refugio Nacional de Vida Silvestre Isla San Lucas: Breve reseña del proyecto. Documento técnico*.

Rangel, O. y L. Barrantes. "Riqueza y abundancia de aves en isla San Lucas", en *Ambientales* 32, 2006.

Rodríguez, M. 1989. *Tamaño y composición de los grupos sociales del hatillo de venado cola blanca (Odocoileus virginianus) de la isla San Lucas, Costa Rica*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales, Universidad Nacional. Costa Rica.

Rosales, M. "Población de monos congo en isla San Lucas", en *Ambientales* 32, 2006.

Ruiz, J., M. Fandiño y R. Chazdon. "Vegetation Structure, Composition, and Species Richness Across a 56-year Chronosequence of Dry Tropical Forest on Providencia Island, Colombia", en *Biotropica* 37(4), 2005.

Sáenz, J. 1990. *Ecología de dos grupos de venados cola blanca (Odocoileus virginianus) liberados en un nuevo hábitat*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales, Universidad Nacional. Costa Rica.

Sánchez, J., B. Muñoz y L. Montejó. "Rasgos de semillas de árboles en un bosque siempreverde tropical de la Sierra del Rosario, Cuba", en *Pastos y Forrajes* Vol. 32 (2), 2009.

Sánchez, A. *et al.* 2002. *Estudio de cobertura forestal de Costa Rica con imágenes LANDSAT TM 7 para el año 2000*. Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre, Centro Científico Tropical y Fonafifo. San José.

Schofield, E. "Effects of Introduced Plants and Animals on Island Vegetation: Examples from Galapagos Archipelago", en *Conservation Biology* 3 (3), 1989.

Turner, M., R. Garner y R. O'Neill. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice: Patterns and Process*. Springer Science Business Inc. EU.

Verheyen, K. *et al.* "An Integrated Analysis of the Effects of Past Land Use on Forest Herb Colonization at the Landscape Scale", en *Journal of Ecology* 91, 2003.

Vieira, D. y A. Scario. "Principles of Natural Regeneration of Tropical Dry Forests for Restoration", en *Restoration Ecology* 14 (1), 2006.

Zang, R. y Y. Ding. "Forest recovery on abandoned logging roads in a tropical montane rain forest of Hainan Island, China", en *Acta Oecologica* 35, 2009.