

REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES DE
LA UNIVERSIDAD NACIONAL
HEREDIA, COSTA RICA

UNICIENCIA

Vol. 18. N^{os}. 1 y 2
Año 2001



VALORACIÓN DEL RIESGO DE DEFORESTACIÓN FUTURA EN COSTA RICA

Edwin Chaves Esquivel

Centro Centroamericano de Población, UCR
Escuela de Matemática, Universidad Nacional, Apdo. 86-3000, Heredia, Costa Rica
echa@una.ac.cr

Luis Rosero-Bixby

Centro Centroamericano de Población, UCR
Apdo. 141-2070 Sabanilla, San José, Costa Rica
lrosero@ccp.ucr.ac.cr

RESUMEN

El artículo expone un procedimiento para estimar los riesgos de deforestación futura de Costa Rica. Se utiliza un sistema de información geográfica con capas de datos en formato "raster", que divide el territorio nacional en aproximadamente 100.000 celdas de 750 m de lado, de las cuales alrededor de 34.000 contenían bosque a inicios de los ochenta. Con regresión logística se identifica un modelo explicatorio de la probabilidad de deforestación de una celda en el período 1984-1996. Este modelo se aplica a datos demográficos actualizados en 1996 para estimar las probabilidades esperadas de deforestación de las celdas con bosque en ese año. Alrededor de 4.000 km² con bosque en 1996, están en riesgo de deforestación en los siguientes 15 años. De los restantes 15.000 km² de áreas boscosas con bajo riesgo esperado de deforestación, el 73% se encuentra en zonas que tienen algún tipo de protección legal. La mayoría de los bosques fuera de las áreas protegidas se encuentran en grave peligro de ser deforestados en los próximos 15 años. Las áreas de más alto riesgo se ubican en la zona Pacífico norte, en el Caribe y en la zona norte. Según el modelo, los sitios que están en riesgo de deforestación tienen una probabilidad del 44% que efectivamente serán deforestados, siempre y cuando ciertas condiciones pasadas se mantengan. Estos resultados son un aviso sobre

lo que podría suceder como consecuencia del incremento de la presión demográfica en Costa Rica, si esta no es neutralizada con políticas apropiadas.

ABSTRACT

The article presents a procedure to estimate the future risk of deforestation in Costa Rica. It uses a geographic information system with data layers in "raster" format with cells of 750 m side. The Costa Rican territory comprises about 100,000 cells, including 34,000 in forests in the early 1980s. An explanatory model of the probability of deforestation in 1984-1996 is identified using logistic regression. This model is then applied to demographic data updated to 1996 to estimate the expected probabilities of deforestation of those cells forest-covered in 1996. About 4,000 km² of 1996 forests are in risk of deforestation in the following 15 years. Of the remaining 15,000 km² of forests, 73% are in protected areas. Most forests outside protected areas are at high risk of clearing in the coming 15 years. These high-risk forest lands are located mostly in the northern Pacific region, the Caribbean coast and the northern plains. According to the model, the cells at risk of deforestation have 44% likelihood of being, in fact, cleared (if certain past conditions remain constant). These results are a call upon what could happen due to the increased

demographic pressure in Costa Rica, if such pressure is not neutralized with appropriate policies.

INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta un procedimiento para estimar los riesgos de deforestación futura de áreas específicas de Costa Rica. El estudio incluye un análisis de los factores asociados a la deforestación en el período 1984-1996 como base para identificar el modelo de predicción. La base de datos utilizada consiste en una serie de capas de información en formato "raster", analizadas por medio del software "IDRISI for windows". Para la realización de este análisis se dividió el territorio nacional en aproximadamente 100.000 celdas de 750 m de lado. La probabilidad de deforestación de estas celdas se estimó con un modelo de regresión logística multivariada, en función de una serie de características físicas y poblacionales de la celda que otros estudios han mostrado están asociadas a la deforestación (ROSETO-BIXBY y PALLONI 1998). El modelo estima la probabilidad de deforestación en el período 1984-1996, usando como predictores la población del censo de 1984 y las características físicas de la celda. El riesgo futuro se estima con las probabilidades esperadas para 1996-2010, que resultan de aplicar el modelo a datos demográficos actualizados en 1995.

La determinación del riesgo de deforestación futura cobra importancia, pues, pese a los esfuerzos para proteger legalmente los bosques, Costa Rica ha vivido un fuerte proceso de deforestación durante la segunda mitad del siglo XX. En un estudio realizado por PÉREZ y PROTTI (1978) se indica que en 1950 existían en el país 27.000 km² cubiertos por bosques denominados como "densos", lo que equivale al 53% del territorio costarricense. En este estudio se definen como "bosque denso" las áreas en las que al menos el 81% de su superficie está cubierta de árboles. El mismo documento señala que en el año 1977, la totalidad de bosques densos equivalía únicamente a 16.000 km². Estos datos muestran una pérdida entre 1950 y 1977 de 11.000 km² de bosques densos, lo cual indica que en 27 años se deforestó aproximadamente el 41% de esos bosques. Los resultados anteriores concuerdan con lo expuesto por SADER y JOYCE (1988), quienes señalan que, entre 1940 y 1983,

Costa Rica perdió alrededor de un 50% de sus bosques originales, y que en 1983 el país cuenta con únicamente un 17% de bosques primarios. Por su parte, SÁNCHEZ (1993), en otro estudio realizado en los años noventa, indica que entre 1986 y 1991 se deforestaron en Costa Rica 225.000 hectáreas de bosque, lo que da una tasa de deforestación de 45.000 hectáreas por año.

Estos y otros estudios con consistencia señalan que en los últimos cincuenta años Costa Rica ha perdido aproximadamente la mitad de sus bosques. Si el ritmo de pérdida continúa, en los únicos lugares donde se encontrarán árboles en el futuro será en las áreas protegidas, siempre y cuando puedan soportar la presión que sobre ellas va a existir.

Este deterioro no es exclusivo de Costa Rica, sino que ha involucrado los bosques tropicales en todo el mundo (MYERS 1991). El problema de deforestación con frecuencia se atribuye al fuerte crecimiento poblacional que han experimentado los países con bosques tropicales en la segunda mitad de este siglo (ARCIA 1990, MYERS 1991). Sin embargo, algunos estudios evidencian que el crecimiento poblacional no es la única causa directa de deforestación, y otros factores podrían estar involucrados en esta destrucción, incluso en ausencia de presión demográfica. Los mercados internacionales, las políticas locales de crédito que favorecen la ganadería y las plantaciones bananeras son ejemplos costarricenses de estos factores (ROSETO-BIXBY y PALLONI 1998).

MATERIAL Y MÉTODOS

Utilizando regresión logística (HOSMER y LEMESHOW 1989) se identificó un modelo que estima las probabilidades de deforestación de una parcela de tierra, en una matriz de datos donde las observadas son 34.000 celdas de 750 m de lado, que estaban cubiertas de bosque en 1984 y la variable dependiente es si la celda se deforestó en los 15 años subsiguientes. En símbolos:

$$\log \text{ito}(\pi) = \beta \cdot X + \varepsilon$$

$\pi_i = (\pi_i)_{n \times 1}$ representa un vector de probabilidades, π_i corresponde a la probabilidad de deforestación de la celda i , $1 \leq i \leq n$.

$X = (x_{ij})_{n \times (m+1)}$ representa una matriz de variables predictoras, x_{ij} corresponde al valor de la variable predictora j para la celda i para $0 \leq j \leq m$, $1 \leq i \leq n$, además $x_{0j} = 1$, para toda j (se tienen m variables predictoras).

$\beta = (\beta_j)_{(m+1) \times 1}$ representa un vector de coeficientes, β_j corresponde al coeficiente de regresión para $0 \leq j \leq m$.

$\varepsilon = (\varepsilon_i)_{n \times 1}$ representa un vector de tamaño $n \times 1$, donde ε_i es el error aleatorio correspondiente a la celda i para $0 \leq i \leq m$.

Para estimar el modelo se partió de un sistema de capas de información en formato "raster", con celdas de 750 m de lado. Todo el territorio nacional comprende cerca de 100.000 celdas. Del análisis se excluyen las celdas que habían perdido el bosque antes de 1984, lo que deja 39.400 celdas que se encontraban cubiertas de bosques en 1984, de las cuales únicamente 34.057 cuentan con información en 1996, las restantes aparecen cubiertas por nubes en el mapa del último año. El SIG incluyó los siguientes mapas o capas de información:

1. Uso del suelo en Costa Rica en el año 1984, escala 1 a 200.000, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional y publicado en 1987. Este mapa fue obtenido por medio del Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (TELESIG) de la Universidad Nacional (UNA) de Costa Rica.
2. Cobertura de bosques en 1996, elaborado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Sostenible (CIEDES) de la Universidad de Costa Rica, para el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) con base en imágenes de satélite. La comparación en el SIG de este mapa con el de 1984 permite determinar si una celda fue deforestada en el período 1984-1996.
3. Elementos físicos: carreteras (1993), áreas protegidas y ríos, esta información fue obtenida nuevamente por medio del TELESIG de la UNA. Zonas de vida, información correspondiente a la calificación hecha por Leslie Holdridge y elaborado por el Centro Científico Tropical en escala 1:200.000 (HOLDRIDGE y TOSI 1972). Se prepararon, además, mapas del grado de accesibi-

lidad a cada celda de bosque, incluyendo la distancia euclidiana a la carretera nacional o cantonal más próxima, y la distancia al borde del bosque, en 1984. La utilización de estas variables se justifica porque tierras localizadas cerca de las carreteras o del borde del bosque están en mayor riesgo de deforestación, además, reciben mayor presión demográfica. Con respecto al análisis de las áreas protegidas, existen en el país diferentes categorías de manejo de las áreas silvestres protegidas; con ellas se procedió a crear tres clases de acuerdo con su nivel de protección. Protección alta: incluye los parques nacionales, las reservas biológicas. Protección media: comprende los refugios de vida silvestre y las reservas forestales. Protección baja: incluye las zonas protectoras y los corredores biológicos (ARTAVIA y MENA 1998).

4. Mapas poblacionales obtenidos después de geocodificar los censos de población y vivienda completos de 1984, así como los mapas con las viviendas del fallido censo de 1997. El procedimiento de geocodificación consistió en identificar las coordenadas geográficas al centroide de cada segmento censal (grupo de aproximadamente 60 viviendas, definido con fines de enumeración). El procedimiento supone que todos los hogares de un segmento se concentran en un solo punto. La geocodificación fue validada en el terreno con mediciones tomadas con un GPS (Global Position System) en una muestra de 40 segmentos. Se utilizó un GPS Magellan 4000, configurado con el datum "CENAM" provisto por este aparato para Centroamérica. La discrepancia mediana entre las dos mediciones fue de 60 m.

La geocodificación del censo de 1984 permitió obtener información demográfica muy completa para el inicio del período en estudio, tal como viviendas, población total, población agrícola, fecundidad, migración, condición socioeconómica y similares. Sin embargo, como se requería un modelo que pudiera ser aplicado en 1996 y la única información disponible en ese año era el número de viviendas, el análisis predictivo tuvo que limitarse a

esta única variable demográfica. Por otro lado, se encontraron problemas como que la información del número de viviendas no estaba disponible por celda (sino por segmento censal) y que prácticamente no existen viviendas en las celdas cubiertas con bosque. El primer problema se superó redistribuyendo los números de viviendas por segmento en celdas de 750 m de lado, siguiendo el procedimiento de interpolación-desagregación espacial propuesto por BRACKEN (1989) y utilizando el algoritmo en FORTRAN desarrollado por este autor. El segundo problema se superó calculando para cada celda un indicador de la presión demográfica: el potencial de viviendas, que consiste en la suma de todas las viviendas en un radio de 5 km del centro de la celda, ponderadas por el inverso de la distancia (ROSERO-BIXBY y PALLONI 1998).

Entre los elementos físicos considerados en el modelo de regresión se tienen: el tipo de zona de vida donde se encuentra ubicada (incluida en la regresión como una serie de variables indicatrices dicotómicas), si es un área protegida, distancia a la carretera nacional o cantonal, distancia al río más cercano, distancia al borde del bosque, inclinación del terreno en términos del porcentaje de la pendiente y la distancia a la costa.

A partir de las distintas capas del SIG, se creó una base de datos que incluye para cada una de las celdas información sobre si fue deforestada en 1984-1996, el potencial de viviendas en 1984 y los elementos físicos antes anotados. La variable dependiente en el modelo de regresión logística consistía en la dicotomía si la celda fue deforestada o no. Para la variable demográfica y los indicadores de distancia en km se tomaron los logaritmos. Puede demostrarse que los coeficientes de regresión correspondientes a los logaritmos de la variable miden la elasticidad del riesgo de deforestación, es decir, el aumento proporcional en dicho riesgo asociado a un aumento de un 1% en la variable explicatoria.

Evaluar el valor predictivo del modelo requirió observar la confiabilidad de este en la clasificación de si una celda fue deforestada en el período 1984-1996. Es decir, es necesario comparar la clasificación predicha con la observada. La cla-

sificación predicha se obtuvo con las probabilidades estimadas por el modelo y un criterio de clasificación, o punto de corte (ejemplo: si la probabilidad es mayor que 0,70 se predice deforestación). La escogencia del punto de corte, o criterio de clasificación, implica minimizar dos tipos de error: 1) clasificar como deforestada una celda que no se ha deforestado; y 2) predecir que una celda no se ha deforestado cuando en realidad sí ha ocurrido. Para minimizar estos errores se procedió matemáticamente a optimizar los siguientes elementos:

- a) El número de celdas realmente deforestadas que el modelo predijo se iban a deforestar (VPN-valor predictivo negativo).
- b) El número de celdas que el modelo predice van a ser deforestadas y efectivamente se deforestaron (VPP-valor predictivo positivo).

Para diferentes puntos de corte de las probabilidades se determinaron las proporciones de celdas que satisfacen cada uno de los puntos a) y b) anteriores y por medio de un simple análisis gráfico es posible aproximar el óptimo buscado. Este análisis gráfico es una variación de la técnica conocida como ROC (Receiver Operating Characteristic Curve), introducida en 1954 en la teoría de detección de señales y luego usada en sicología y medicina (GREEN y SWET 1974). También se ha usado en Costa Rica en una aplicación del muestreo para asegurar calidad de servicios de atención primaria de la salud (ROSERO-BIXBY *et al.* 1990).

RESULTADOS

De las aproximadamente 34.000 celdas con bosque analizadas, 6.700 fueron deforestadas en el período 1984-1996. El cuadro 1 presenta los resultados del modelo de regresión logística. Se observa un efecto significativo sobre la deforestación de todas las variables consideradas. Con excepción de la distancia al camino más próximo, todas las variables son estadísticamente significativas a menos del 1%. Destaca el fuerte efecto de la protección legal de las áreas boscosas para evitar la deforestación. El riesgo ("odds") de deforestación se reduce a menos de la cuarta parte ($e^{-1.473} = 0,23$) en un área con alto nivel de protección legal con respecto a un área no protegida. Por otra parte, el riesgo se reduce a menos de la mitad ($e^{-0.834} = 0,43$)

Cuadro 1.
Coefficientes del modelo de regresión logística en las probabilidades de
deforestación. Costa Rica, 1984-1996.

VARIABLES	Coef. (β)	Exp. (β) "odds"	P > Z
Población			
Número de viviendas (ln)	0,094	1,10	0,000
Accesibilidad			
Distancia a borde del bosque (ln)	-0,390	0,68	0,000
Distancia al camino próximo (ln)	-0,018	0,98	0,060
Distancia al río (ln)	-0,084	0,92	0,000
Pendiente			
3% o menos de inclinación	(refer)		
Más de 3% de inclinación	-0,431	0,65	0,000
Áreas protegidas			
Ninguna protección	(refer)		
Protección baja	-0,348	0,71	0,000
Protección media	-0,942	0,39	0,000
Protección alta	-1,473	0,23	0,000
Zonas de vida			
Tropical seca y semiseca	(refer)		
Tropical húmeda	-0,490	0,61	0,000
Premontana húmeda	-0,221	0,80	0,000
Premontana lluviosa	-0,625	0,54	0,000
Montana lluviosa	-0,834	0,43	0,000
Constante	2,873	17,69	0,000
Número de observaciones	34.057		
Pseudo R²	0,158		
Chi-cuadrado	0,000		

en un bosque ubicado en una zona montana lluviosa con respecto a un bosque ubicado en una zona tropical seca o semiseca. En relación con la presión demográfica, un incremento del 1% en la densidad de viviendas, incrementa en un 0,1% el riesgo de deforestación. La accesibilidad del bosque es otro factor que facilita la deforestación. Por ejemplo, una disminución de 1% en la distancia al borde del bosque incrementa en 0,39% el riesgo de tala.

La figura 1 resume el análisis del valor predictivo del modelo para diferentes puntos de corte de las probabilidades predichas. Como se indicó en la sección anterior, se analizan dos tipos de erro-

res o dos aspectos de la predicción: la proporción de celdas realmente deforestadas que el modelo predijo se deforestarían (VPN-valor predictivo negativo) y la proporción de celdas que el modelo predice serán deforestadas y efectivamente se deforestaron (VPP-valor predictivo positivo).

Si se confiere igual importancia a los dos tipos de valores predictivos, resulta evidente en la figura que el óptimo buscado se alcanza para un punto de corte en la probabilidad esperada de 0,36. Vale decir, que una celda está en riesgo de deforestación en los siguientes 15 años si su probabilidad de deforestación estimada es mayor o igual a 0,36; en caso contrario, esta celda no está en riesgo de

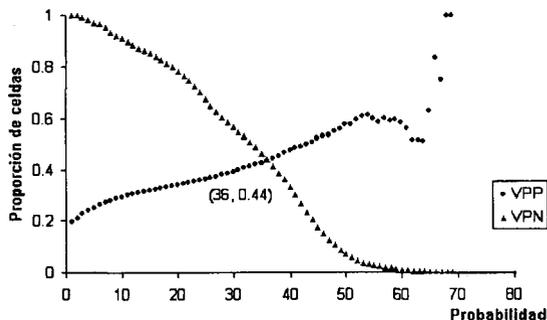


Figura 1. Valores predictivos del modelo de regresión logística.

deforestación. Con este criterio de clasificación los dos valores predictivos son de aproximadamente 0,44.

El cuadro 2 permite determinar la confiabilidad de este criterio en el período 1984-1996. El cuadro muestra la clasificación observada y predicha de las 34.057 celdas analizadas. Se observa que el 19,8% de las celdas fueron realmente deforestadas en el período y que el modelo predice que el 20% serían deforestadas, es decir, prácticamente la misma cantidad. Aunque este resultado es muy alentador, cuando se observa con más detenimiento la predicción emergen aspectos problemáticos. Así, de las 6.810 celdas para las que el modelo predice deforestación, sólo en el 44% de ellas se cumple la predicción; y de las 27.247 celdas que el modelo predice que conservarán el bosques, en el 86% de estas se cumple la predicción. Tomando prestados términos de epidemiología, la *sensibilidad* del criterio de clasificación para detectar celdas que se deforestaron es de 44% y la *especificidad* para

clasificar correctamente celdas que no se deforestaron es de 86%.

Para ciertos fines es conveniente mejorar la sensibilidad del modelo, es decir, mejorar la predicción de celdas que se deforestan o el VPP. Para ello, basta con incrementar el punto de corte de la probabilidad. Con este hecho en mente, se definió la categoría “celdas con alto riesgo de deforestación” como aquellas con una probabilidad de 0,50 o más de ser deforestadas. El modelo identificó 823 celdas con una probabilidad mayor o igual de 0,50 de haber sido deforestadas en el período 1984-1996, de las cuales 474 sí lo fueron. Con este criterio, la sensibilidad del modelo para detectar deforestación sube a 58%.

Los resultados del modelo del cuadro 1 y los criterios de clasificación apuntados (0,36 y 0,50) se aplicaron a las celdas con bosque en 1996, incluyendo tanto las que conservaron el bosque en 1984-1996 como las que se reforestaron en este período, para identificar las áreas en riesgo de perder el bosque en 1996-2010. Antes de aplicar el modelo fue necesario determinar los nuevos valores de las variables explicativas que cambiaron en el período, a saber: densidad de viviendas y distancia al borde del bosque. Las restantes variables (incluyendo todas las que aparecen en el cuadro 1) se supuso que son constantes.

El cuadro 3 presenta los resultados de la predicción; i.e., la distribución de las 34.480 celdas con bosque en 1996, de acuerdo con sus riesgos estimados de deforestación. Se observa que 22% del bosque existente en 1996 está en riesgo de desaparecer en los 15 años siguientes, incluyendo

Cuadro 2.
Valor predictivo del modelo de deforestación con un punto de corte en 0,36.

Valores reales	Valores predichos								
	No def.	Def.	Total	No def.	Def.	Total	No def.	Def.	Total
No def.	23.482	3.829	27.311	86,2	56,2	80,2	86,0	14,0	100
Def.	3.765	2.981	6.746	13,8	43,8	19,8	55,8	44,2	100
Total	27.247	6.810	34.057	100,0	100,0	100,0	80,0	20,0	100

Cuadro 3.
Superficie en peligro de deforestación futura.

Categoría	Nº de celdas	Hectáreas	Porcentaje
Sin riesgo	26.870	1.511.438	78,0
En riesgo	6.537	367.706	18,9
Alto riesgo	1.073	60.356	3,1
Total	34.480	1.939.500	100,0

un 3% con alto riesgo de tala. De las 26.870 celdas con bosque que presentan un riesgo bajo de deforestación (probabilidad menor al 36%), un 73% (11.033 km²) se encuentra en zonas con algún grado de protección legal (parques nacionales, reservas biológicas, refugios de vida silvestre, reservas forestales, zonas protectoras, corredores biológicos o zonas de amortiguamiento). Mientras que el restante 27% (4.081 km²) no cuenta con protección legal y podría (teóricamente) ser más vulnerable.

El cuadro 4 muestra los resultados anteriores por provincia. Guanacaste es la más amenazada, porque el 45% de su bosque está en riesgo de deforestación, seguida por la provincia de Alajuela, donde el 31% de los bosques está en riesgo. Por

otro lado, San José y Cartago son las provincias con menor amenaza de perder sus bosques, pues solo el 7% presenta riesgo de deforestación. Las restantes provincias muestran cifras muy similares de posible deterioro forestal, de alrededor del 18%. Sin embargo, estas cifras están fuertemente afectadas por el nivel de protección de las áreas boscosas. Como se puede apreciar en el cuadro 5, aunque Guanacaste es la provincia más amenazada también cuenta con el porcentaje más bajo de protección a sus bosques, la mitad de estos carece de protección. Por otro lado, en Cartago el 86% de los bosques con bajo riesgo de deforestación presenta alguna protección, lo que equivale al 80% de sus bosques; esta situación provoca que esta provincia presente niveles tan bajos de amenaza. El resultado más relevante de este cuadro señala que en la provincia de Limón el 90% de las áreas boscosas con bajo riesgo de deforestación se encuentra con algún nivel de protección, lo que revela que prácticamente todo el bosque fuera de las áreas protegidas se encuentra en serio peligro de ser deforestado en los 15 años posteriores a 1996.

Los resultados anteriores se complementan con la información suministrada por el mapa de la figura 2, el cual permite identificar la localización precisa de las áreas en riesgo de tala. Pueden observarse pequeñas zonas de probable deforestación

Cuadro 4.
Distribución del bosque existente en 1996 por provincia según el riesgo de deforestación estimado para los siguientes quince años.

Provincia	Bosque en km ² (%)		No bosque	Ignorado (nubes)
	Sin riesgo prob. < 0,36	En riesgo prob. ≥ 0,36		
San José	1.583 (93)	123 (7)	3.027	248
Alajuela	1.711 (69)	754 (31)	5.541	1.754
Cartago	1.907 (93)	143 (7)	986	58
Heredia	1.143 (83)	230 (17)	1.264	11
Guanacaste	1.858 (52)	1.502 (45)	6.724	137
Puntarenas	3.159 (84)	694 (18)	6.560	827
Limón	3.753 (82)	835 (18)	3.379	1.164
Total	15.114 (78)	4.281 (22)	27.481	4.199

Entre paréntesis: porcentaje del bosque en 1996.

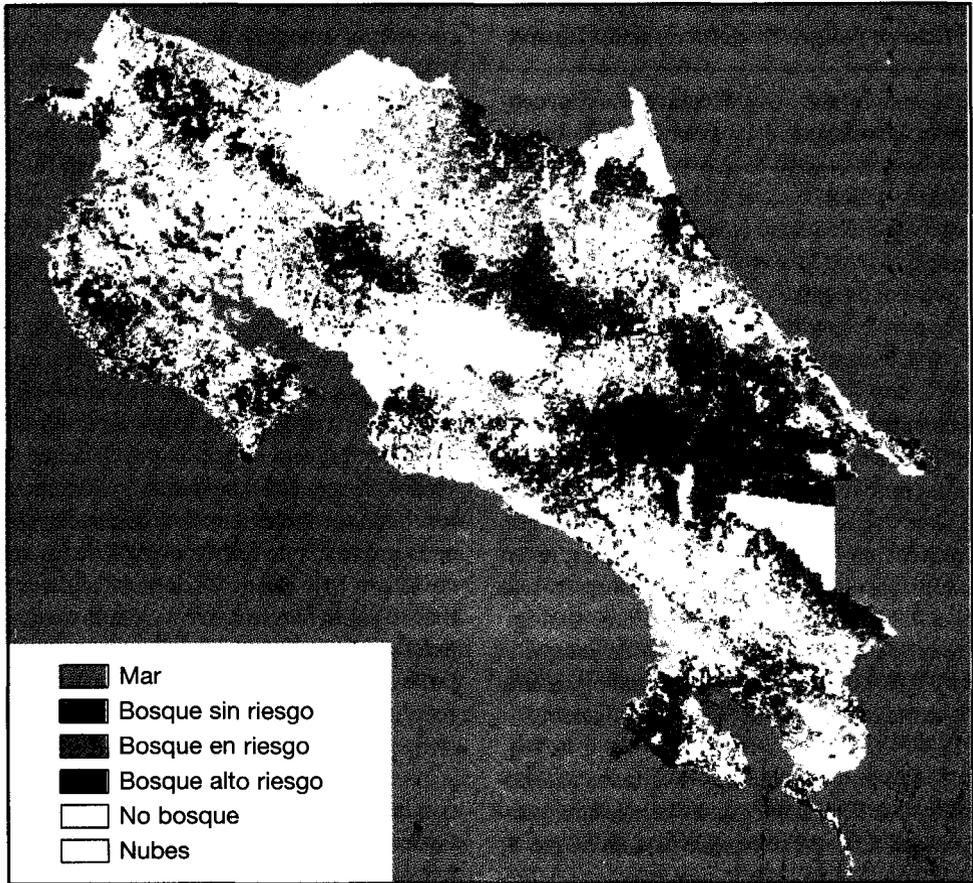


Figura 2. Mapa del riesgo de deforestación futura en Costa Rica.

Cuadro 5.
Distribución del bosque sin riesgo de deforestación para los siguientes quince años por provincia, según su protección legal.

Provincia	Bosque sin riesgo de deforestación en km ² (%)		Total
	Algún tipo de protección	Sin protección	
San José	1.111 (70)	472 (30)	1.583
Alajuela	1.022 (60)	689 (40)	1.711
Cartago	1.641 (86)	266 (14)	1.907
Heredia	828 (72)	315 (28)	1.143
Guanacaste	930 (50)	928 (50)	1.858
Puntarenas	2.079 (66)	1.080 (34)	3.159
Limón	3.381 (90)	372 (10)	3.753
Total	10.992 (73)	4.122 (27)	15.114

Entre paréntesis: porcentaje del bosque en 1996.

REFERENCIAS

- Arcia, G., L. Merino, A. Mata y A. O'Hamlon. 1990. Modelo Iterativo de la Población y Medio Ambiente en Costa Rica 1990. San José, Costa Rica: Asociación Demográfica Costarricense.
- Artavia, G. y Y. Mena. 1998. Parques Nacionales y otras Áreas Silvestres Protegidas en Costa Rica. San José: SINAC, MINAE.
- Bracken, I. 1989. The generation of socioeconomic surfaces for public policy making. *Environment and Planning B*, 16: 307-316.
- Green, D.M. y J.A. Swet. 1974. Signal Detection Theory and Psychophysics. Rev. ed. Huntington, New York: Krieger.
- Hosmer, D.W. y S. Lemeshow. 1989. Applied Logistic Regression. New York: John Wiley & Sons.
- Holdridge, L. y J. Tosi. 1972. The World Life Zone Classification System and Forestry. San José: Centro Científico Tropical.
- Myers, N. 1991. The world's forest and human populations: The environmental interconnections. In K. Davis & M.S. Bertram (Editors). Resources, environment and population: present knowledge, future options. Supplement (Population and Development Review 16). (pp. 237-251). New York: The Population Council/Oxford University Press.
- Pérez, S. y F. Protti. 1978. Comportamiento del sector forestal durante el período 1950-1977. San José, Costa Rica: Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria (DOC-OPSA; 15).
- Rosero-Bixby, L., C. Grimaldo y C. Raabe. 1990. Monitoring a primary health programme with lot quality assurance sampling: Costa Rica, 1987. *Health Policy and Planning*, 5: 30-39.
- Rosero-Bixby, L. y A. Palloni. 1998. Population and deforestation in Costa Rica. *Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies*, 20: 149-183.
- Sánchez, G.A. 1993. Environmental Change in a Tropical Rain Forest Basin, a Case Study: the Upper Reventazon Basin, Costa Rica. University of New Hampshire: Unpublished Master of Science Thesis, 1993.
- Sader, S. y A.T. Joyce. 1988. Deforestation Rates and Trends in Costa Rica 1940 to 1983. *Biotrópica*, 20: 11-19.