

# Cuantificación de los indicadores sociales, económicos y ecosistémicos que permiten evaluar la sostenibilidad en los bosques manejados

## Quantification of social, economic and ecosystem indicators that allow to evaluate sustainability in managed forests

Cynthia Salas-Garita<sup>1</sup>  • Ruperto Quesada-Monge<sup>2</sup> 

Recibido: 23/7/2021 Aceptado: 23/6/2022

### Abstract

In Costa Rica, natural forest management has been regulated rigorously using a hierarchical scheme of Principles, Criteria, and Indicators of Sustainability (PCI's). These systems are complex and have traditionally been used in the ex-ante evaluation of forest management in Costa Rica but have not been used in the ex-post evaluation of managed forests. Creating evaluation systems that allow evaluating sustainability with few criteria is very desirable, but it is more important to have validated systems. In the present study we proceeded to quantify and validate a hierarchical scheme of indicators to use in ex-post evaluation; the first step was the quantification of 30 sustainability indicators defined in previous studies as possible to use in the evaluation of this type. Each indicator was then validated using 3 criteria: accessibility to information, cost of access, and relevance of the indicator in relation to the management unit. From the quantification of the indicators, a total of 25 indicators were validated which represent the ecosystem, social, institutional, and economic dimensions on which sustainability is based. The ecosystem baseline was also defined for the variables basal area above 30 cm in diameter (dbh) and proportion of ephemeral heliophic species above 10 cm in diameter (dbh), this baseline was constructed by forest types according to the minimum and maximum reference values.

**Keywords:** Permanent sampling plots, forest management, ex post.

1. Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica; Cartago, Costa Rica; DOCINADE, Énfasis en Recursos Naturales, [cysalas@itcr.ac.cr](mailto:cysalas@itcr.ac.cr)

2. Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica; Cartago, Costa Rica; [rquesada@itcr.ac.cr](mailto:rquesada@itcr.ac.cr)

## Resumen

En Costa Rica se ha regulado el manejo forestal de los bosques naturales de manera rigurosa utilizando un esquema jerárquico de Principios, Criterios e Indicadores de Sostenibilidad (PCI's). Estos sistemas son complejos y tradicionalmente se han utilizado en evaluación ex-ante del manejo forestal, pero no se han utilizado en la evaluación ex-post de los bosques manejados. Crear sistemas de evaluación que permitan evaluar la sostenibilidad con pocos criterios es muy deseable, pero es de relevancia contar con sistemas validados. En el presente estudio se procedió a cuantificar y validar un esquema jerárquico de indicadores para utilizar en evaluación ex post. El primer paso fue la cuantificación de 30 indicadores de sostenibilidad definidos en estudios previos como posibles de utilizar en evaluación de este tipo. Luego, cada indicador se sometió a validación utilizando 3 criterios: accesibilidad a la información, costo de acceso y pertinencia del indicador en relación con la unidad de manejo forestal. A partir de la cuantificación de los indicadores se logró validar un total de 25 indicadores. Los indicadores validados representan las dimensiones ecosistémica, social, institucional y económica sobre las que se fundamenta la sostenibilidad. Se definió; además, línea base de ecosistema para las variables área basal arriba de 30 cm de diámetro y proporción de especies heliófitas efímeras arriba de 10 cm de diámetro, esta línea base se construyó por tipos de bosque según los valores de referencia mínima y máxima que establecen la normativa costarricense.

**Palabras clave:** Parcelas permanentes de muestreo, manejo forestal, ex post.

## Introducción

El uso de los bosques naturales en Costa Rica en los años 60's y por dos décadas se realizó sin considerar componentes técnicos, [1], [2]. En los años 80's con la participación de ingenieros forestales se empezó a realizar intervenciones denominadas aprovechamientos forestales y para el final de la misma década se produjeron cambios en la Ley Forestal y en las técnicas de aprovechamiento, considerando el aprovechamiento forestal mejorado, [3], [2] dejando por siempre enterrado el concepto de explotación forestal.

En el ámbito internacional relacionado con política forestal, los gobernantes de la mayoría de los países reconocen en los planes nacionales de desarrollo forestal, la importancia del Manejo Forestal Sostenible, [4]; o sea, un sistema de manejo que intenta equilibrar el desarrollo social, económico y los valores ecológicos

asociados a los bosques, para las actuales y futuras generaciones, [5]. El Manejo Forestal Sostenible se ha convertido en el paradigma dominante para la discusión de la gestión forestal y la protección en el mundo, abordando entonces la ordenación forestal sostenible económica, ecológica y los componentes sociales que forman parte de la silvicultura, [6].

Desde entonces, los procesos de manejo y ordenación forestal se han inclinado más por considerar elementos biológicos relacionados con silvicultura, como factor determinante para lograr la sostenibilidad, [7], esto mismo es reafirmado por Maesa et al. [8], quienes indican que el Manejo Forestal Sostenible fue interpretado inicialmente como la sostenibilidad del aprovechamiento del bosque, basado en un aprovechamiento forestal mejorado donde se aseguraba el equilibrio de la producción entre cosechas.

Según Quesada [9], en Costa Rica, el Manejo Forestal Sostenible en bosque natural es un concepto que se incluyó después de los años 1990, pero hasta el año 1996 se prohibió el cambio de uso de la tierra, con la emisión de la Ley Forestal 7575 [10]; y a partir de 1996, los bosques tropicales ubicados en las zonas bajas calientes y húmedas, son los que han permitido escribir la historia del manejo forestal del bosque para esta región tropical de Mesoamérica.

El Manejo Forestal de los bosques naturales en Costa Rica permite la extracción de madera de los bosques siempre que se garantice que las acciones de aprovechamiento se van a realizar utilizando Principios, Criterios e Indicadores de Sostenibilidad (PCI's), según lo establecido en la Ley Forestal, [10] y en el decreto ejecutivo No 34559-MINAE, [11] así como la resolución R-SINAC-021-2009, [12] actualmente vigentes.

No obstante que los aspectos silviculturales del bosque son de gran relevancia para alcanzar la sostenibilidad, tomar atención además sobre elementos como la tenencia de la tierra, la organización y de participación, elementos económicos y conocimiento de las normas que regulan ese manejo forestal es de gran relevancia, [13], [14].

A pesar de que Costa Rica ha utilizado los PCI's para planificar el manejo forestal especialmente en Bosque Húmedo Tropical (BhT), no se han realizado evaluaciones de ese manejo para comprobar si realmente los bosques que han sido manejados hasta por 2 y cosechas y más, están alcanzando la sostenibilidad. Para poder evaluar esa sostenibilidad no se ha elaborado metodologías ex post y en consecuencia se ha limitado la evaluación a la fase únicamente de la elaboración del plan de manejo.

En este sentido el presente estudio pretende utilizar un marco de referencia ya propuesto por Salas-Garita

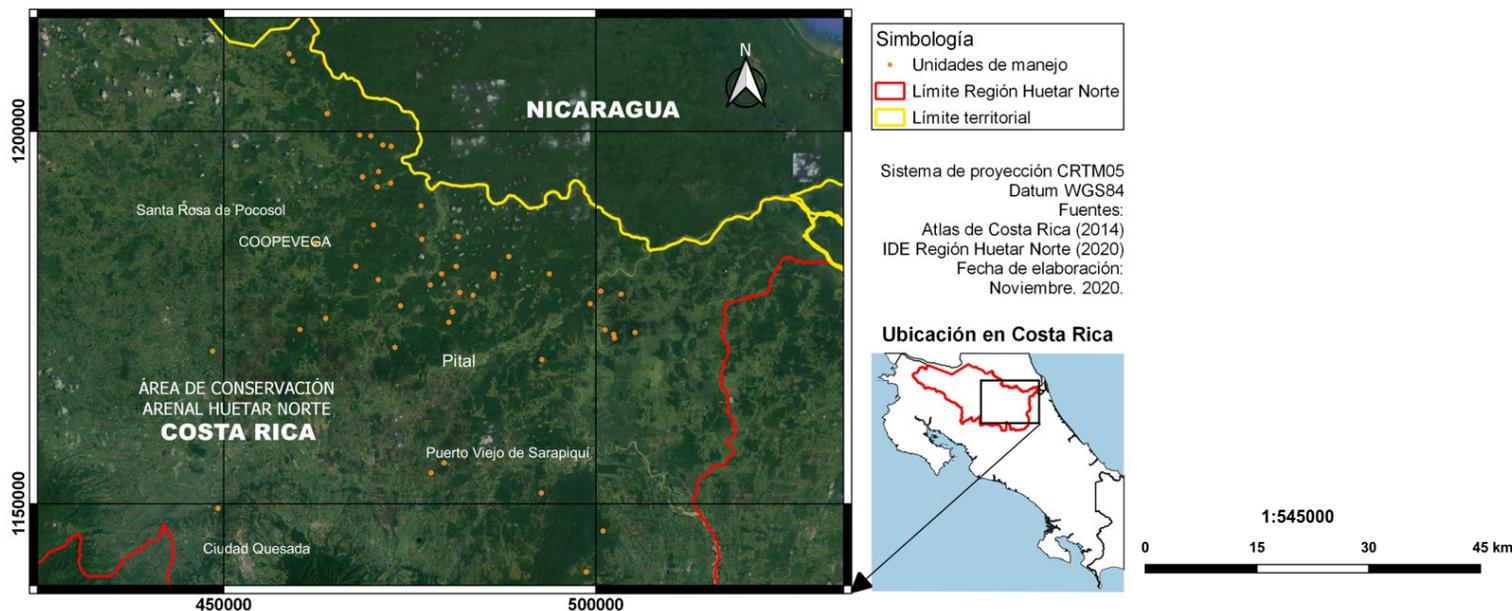


Figura 1. Localización de la Zona Norte de Costa Rica correspondiente al área de estudio.

Figure 1. Location of the Northern Zone of Costa Rica corresponding to the study area.

y Soliño [15] como base para la evaluación ex post de la sostenibilidad y con esa base proceder a cuantificar y validar con información de campo, los indicadores propuestos, con miras a validar el marco de referencia que se propone y con ello generar la información necesaria para la elaboración de un protocolo de evaluación y de modelos que permitan evaluar la sostenibilidad en unidades de manejo forestal manejadas (UMF) en la Zona Norte de Costa Rica correspondientes a bosques manejados durante más de 30 años pertenecientes al BñT.

## Materiales y métodos

### Sitio de Estudio

El área del presente estudio se centra en la Zona Norte de Costa Rica (figura 1), donde se ha ejecutado la mayor cantidad de planes de manejo forestal en el bosque natural. Las estadísticas del país indican que el 97,5 % del total de los aprovechamientos autorizados en los últimos 5 años a nivel nacional se realizaron en esta región [16], la cual cubre una extensión de 490 021,54 ha. De este bosque maduro se ha sometido a Manejo Forestal (MF) 5 445 ha a través de PM durante el período 2012-2018, [17].

### Sitios de muestreo

Por las características de la Zona Norte y la cantidad de UMF con planes de manejo autorizados en el período 2012-2017, se recurrió a la toma de datos del 100 % de las UMF autorizadas en el período, correspondiente a 50 UMF. En la figura 1 los puntos negros representan la ubicación de cada una de las UMF evaluadas.

Se excluyó de esta cuantificación 24 unidades de manejo que fueron aprobados en la Zona Norte antes de la ocurrencia del Huracán Otto en el noviembre de 2016 y que no habían sido ejecutados, o habían sido parcialmente ejecutados, al momento de ocurrencia del huracán. La razón para no considerarlos en la cuantificación es porque estas UMF finalmente ejecutaron planes de aprovechamiento de madera caída y no planes de manejo forestal. Por las características de estos aprovechamientos forestales se decidió no incluirlas ya que no fue posible cuantificar por separado los efectos en la composición y estructura de los bosques por efectos del huracán de los efectos únicamente de la aplicación del manejo forestal.

### Variables cuantificadas

Se seleccionó como variables de cuantificación todos los indicadores de sostenibilidad seleccionados por Salas-Garita y Soliño [15] como indicadores indispensables

**Cuadro 1.** Detalle de la clasificación para los criterios de validación de los indicadores.

**Table 1.** Detail of the classification for the validation criteria of the indicators.

Criterio de validación	Clasificación		
Accesible	Fácilmente accesible (1): significa que la información está disponible, en formato digital o impreso, es pública y no hay que hacer un trámite mayor para poder acceder a la información, está disponible en informes o expedientes en un solo sitio	Moderadamente accesible (0,5): significa que la información es posible accesible, pero para obtener la información completa se debe recurrir a varias fuentes de información	Difícilmente accesible (0): la información para el indicador proviene de una fuente privada, no es completa, la veracidad de los registros existentes no es confiables o bien debe construirse de cero porque no existe.
Pertinente a la UMF	SI (1): la información del indicador está relacionadas directamente con aspectos de la UMF que se pretende evaluar.	NO (0): la información sobre el indicador se refiere a aspectos sobre la UMF que no condicionan la sostenibilidad como por ejemplo registros documentales, son relevantes pero su inexistencia no significa de facto que la UMF no sea sostenible.	
Costo	ALTO (0): para obtener la información hay que construirla de cero a partir de visitas de campo a la UMF, el tiempo de recolección de la información del indicador supera una jornada de trabajo, además hay que complementar con información que ya está en registros escritos.	MODERADO (0,5): Para obtener la información del indicador hay que visitar más de una oficina pública y solicitar los permisos correspondientes	BAJO (1): para obtener la información basta con revisar registros en un único expediente en la oficina del SINAC que ha aprobado el plan. La recolección de la información demora minutos.

y deseables.

A partir de esta lista de indicadores y con fundamento en la propuesta MESMIS [18], para la cuantificación de los indicadores se siguieron los siguientes pasos:

1. Revisión documental: incluyó la revisión de informes de regencia, información del plan de manejo, documentos de propiedad e informes técnicos variados.
2. Mediciones: información actualizada de parcelas permanentes de muestreo, y muestreos temporales para cuantificar los indicadores de ecosistema, cuando estas existieron y estuvieron disponibles.
3. Encuestas: parte de la información económica y social debió cuantificarse a través de información obtenida por encuestas directas a los actores del proceso de manejo forestal sostenible o bien información obtenida de los planes de manejo cuando esta existiera.
4. Una vez terminada la cuantificación se integraron los resultados utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, gráficas o mixtas, entre otras.
5. En total se sometieron a cuantificación para cada UMF 30 indicadores considerados indispensables.

Para determinar el grado de sostenibilidad se utilizó criterio experto:

**Sostenibilidad:** de forma independiente, mediante

criterio experto, se determinó si la UMF era sostenible o no. Para el criterio experto una sola persona conversó con el funcionario que aprobó cada plan de manejo, luego conversó o leyó los informes de control y protección emitidos por otros funcionarios estatales que supervisaron la actividad y finalmente leyó los informes regenciales presentes en el expediente que para tal fin lleva la Administración Forestal del Estado (AFE), con esa información emitió un juicio de experto y determinó si la UMF era sostenible o no.

Para definir si un indicador se cumple o no, en cada UMF evaluada, se localizó información específica del expediente que la AFE conserva en las diferentes oficinas, en el cual se revisó de manera exhaustiva los contenidos del expediente, en algunos casos se visitó la UMF, en otros casos se tuvo acceso a informes regenciales ubicados en la AFE. Además, se revisó la base de datos de FONAFIFO y se conversó con algunos regentes para determinar si la UMF tuvo una o varias veces acceso al beneficio de PSA. Luego con la información recopilada se determinó si el indicador se cumplía o no al 100 %, se cumplía parcialmente o había alguna razón para no realizar la cuantificación, todo esto utilizando la siguiente escala.

Sí: la información del indicador fue localizada, es cuantificable y además se cumplió.

No: la información del indicador fue localizable, fue

**Cuadro 2.** Tamaño de fincas bajo plan de manejo en el período 2012-2018 aprobados en la Zona Norte de Costa Rica.

**Table 2.** Size of farms under management plan in the period 2012-2018 approved in the Northern Zone of Costa Rica.

Área	Mínimo (ha)	Promedio (ha)	Máximo (ha)
Total de finca	15	226	1100
Plan de Manejo	9	109	418
Productiva	9	76	295
Protección	1	31	132
Otros usos	0	115	1000

**Cuadro 3.** Tiempos de aprobación de los planes de manejo en bosque natural sometidos en el período 2012-2017 en 3 de las oficinas del Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Costa Rica.

**Table 3.** Approval times of the forest management plans submitted in the 2012-2018 period in 3 of the offices of the Arenal Huetar Norte Conservation Area, Costa Rica.

Subregión	Tiempo Promedio (meses)	Desviación	Tiempo Menor (meses)	Tiempo Mayor (meses)
San Carlos-Los Chiles	5,1	2,7	1	10
Pital	12,8	6,4	5	31
Norte	2,7	1,3	1	6
Promedio	7,0	5,8	1	31

cuantificada y el indicador no se cumplió.

Parcial: la información del indicador fue localizable, fue cuantificada y el indicador fue cumplido parcialmente.

N/Ev: Significa que no existe información que permita evaluar el indicador en el 100 % de la UMF.

N/I: significa que en algunas UMF es posible localizar información para evaluar el indicador, pero para otras la información no está presente. Pueda ser que exista, pero la información no es pública.

N/A: para las UMF evaluadas el indicador no se evalúa porque la actividad no se hizo para esa unidad.

### Definición de línea base

Se analizó además variables específicas de parcelas permanentes de muestreo con el fin de comparar el estado de los bosques en el tiempo. Las variables analizadas fueron área basal arriba de 30 cm de diámetro y proporción de especies del gremio ecológico heliófitas efímeras. Estas variables fueron analizadas en relación

con los valores de referencia mínima por tipo de bosque, que establecen los Principios Criterios e indicadores de sostenibilidad y el Código de prácticas correspondiente, vigente al momento de aprobar el manejo forestal.

### Análisis de información

Para el análisis de información se elaboraron cuadros resumen y gráficos. Se determinó medias y promedios para la información relacionada con las UMF y los indicadores cuantificados, así como para los aspectos relacionados con las UMF evaluadas.

En el caso de la línea base, para analizar la información se definió la línea base de ecosistema para las variables área basal mayor a 30 cm de diámetro y proporción de especies heliófitas efímeras a partir de 10 cm de diámetro, a partir de la información de parcelas permanentes, las mismas se compararon con las variables tomadas cuando se elaboró el plan de manejo, esa línea base se definió con información de parcelas permanentes de muestreo que se localizan en el área de estudio definida, en fincas que fueron objeto de Manejo Forestal Sostenible en los años 90's. Las parcelas permanentes fueron establecidas antes del aprovechamiento. La diferencia entre sitios para el área basal y la proporción de especies heliófitas efímeras se hizo utilizando prueba t ( $\alpha=0,05$ ) utilizando el SPSS v 23.0, [19].

La validación de los indicadores se realizó en dos etapas, la primera etapa de validación estuvo a cargo de un panel experto y fue descrita por Salas-Garita y Soliño [15], para la segunda etapa de validación se utilizaron los 3 criterios que se describen a continuación. Para que el indicador sea válido se definió que cumpla simultáneamente con los siguientes 3 criterios y niveles: fácilmente accesible, pertinente a la UMF, y de bajo costo, esto significa que requiere del 100 % del porcentaje de validación para quedar debidamente válido, a pesar de que se está exigiendo el cumplimiento al 100 % de los criterios de validación cada uno de ellos se le da un porcentaje de peso. La máxima nota posible corresponde a 1 y que representaría alcanzar el 100 % del puntaje, cada criterio de validación tiene un peso ponderado diferente dependiendo del nivel de importancia que tenga

Accesible: Corresponde con el grado de facilidad que existe para ubicar la información a la que se refiere el indicador y se le da un peso de 0,2 con base 1.

Pertinente a la UMF: Se refiere a si el indicador está relacionado directamente con la UMF o se refiere a otros aspectos que trascienden la UMF. Se le asigna un peso de 0,6 con base 1.

Costo: Se refiere al costo en que se incurre en localizar la información a la que se refiere el indicador. Se le asigna un peso de 0,2 con base 1.

**Cuadro 4.** Distribución de Planes de Manejo correspondientes a Unidades de Manejo Forestal donde se cuantificaron indicadores en el período 2012-2018.

**Table 4.** Distribution of Management Plans corresponding to Forest Management Units where indicators were quantified in the period 2012-2018.

Subregión	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total	%
Subregión San Carlos Los Chiles	2	2	5	7	3	0	19	38
Pital	3	2	4	4	3	0	16	32
Norte	5	1	3	3	1	2	15	30
Total	10	5	12	14	7	2	50	100

**Cuadro 5.** Distribución del volumen y número de árboles autorizados para la corta en bosque natural durante el período 2012-2018 en la Zona Norte, Costa Rica.

**Table 5.** Distribution of the volume and number of trees authorized for log in forest during the period 2012-2018 in the Northern Zone, Costa Rica.

Subregión	Total de árboles autorizados	Arb/ha	Volumen total autorizado (m <sup>3</sup> )	Volumen autorizado (m <sup>3</sup> /ha)
Subregión San Carlos Los Chiles	9602	5	27 600,7	20,3
Pital	4451	4	23 429,8	16,5
Norte	2822	4	21 518,8	18,7
Total	16875	5	72 549,3	18,6

**Cuadro 6.** Aspectos generales sobre los indicadores a utilizar en evaluaciones de sostenibilidad de bosques naturales manejados en Costa Rica que fueron cuantificados en planes de manejo ejecutados entre el 2012 y el 2018.

**Table 6.** General aspects of the indicators to be used in sustainability evaluations of managed forests in Costa Rica that were quantified in management plans executed between 2012 and 2018.

Descripción	Cantidad	%
Total de indicadores sometidos a consideración	71	100
Total de indicadores considerados indispensables	30	42
Total de indicadores indispensables cuantificados	30	100

El detalle de los grados de valoración para la validación de cada indicador se presenta en el cuadro 1.

La base de datos y los gráficos fueron elaborada utilizando el programa Microsoft Excel [20].

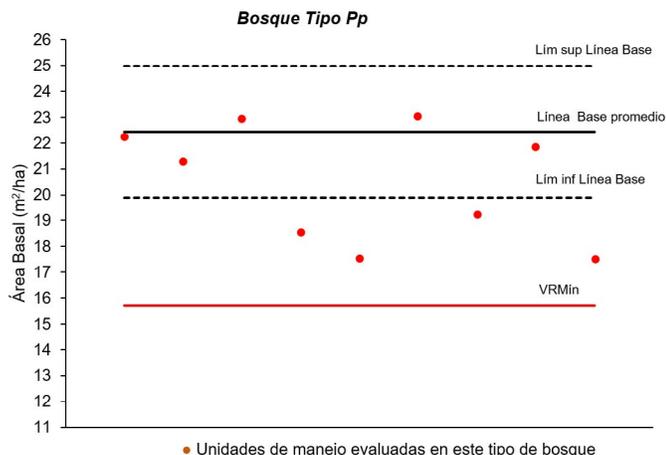
## Resultados

### Aspectos generales relacionadas con el sitio de estudio

La población total de planes de manejo en bosque natural, aprobados durante el período 2012-2017 es de 50, la mayoría de ellos se ubicaron en la Subregión San Carlos-Chiles, en los cuadros del 2 al 4 se resumen las características de la población evaluada en cuanto a tamaño de fincas, planes de manejo por subregión, profesionales asociados a la aprobación, profesionales asociados a la planeación y a la ejecución de planes de manejo en la Zona Norte del país.

El tamaño de finca promedio en producción fue de 76 ha con áreas de protección promedio de 31 ha. La zona productiva se estimó en un promedio de 72 % de la propiedad con bosque.

Adicionalmente se identificó que en el período de estudio solo hubo 5 funcionarios estatales encargados de la aprobación de planes de manejo, 1 de ellos en la subregión San Carlos Los Chiles, 3 en la subregión Pital y 2 en la subregión Norte, (conocida como Sarapiquí), todos ellos ingenieros forestales, uno de ellos ha colaborado en la aprobación de Planes de Manejo de dos subregiones diferentes. Estos funcionarios demoraron en promedio 7 meses para aprobar un plan de manejo. No obstante, el tiempo de aprobación no es igual entre oficinas. En el cuadro 3 se muestra el detalle por oficina de la duración en los procesos de aprobación según



**Figura 2.** Distribución del área basal promedio de cada una de las Unidades de Manejo evaluadas en la Zona Norte de Costa Rica que registran predominantemente el tipo de bosque Pp según Sesnie [21], respecto al valor de referencia mínimo establecido en la normativa nacional y la línea base que se obtuvo para bosques no manejados de este tipo.

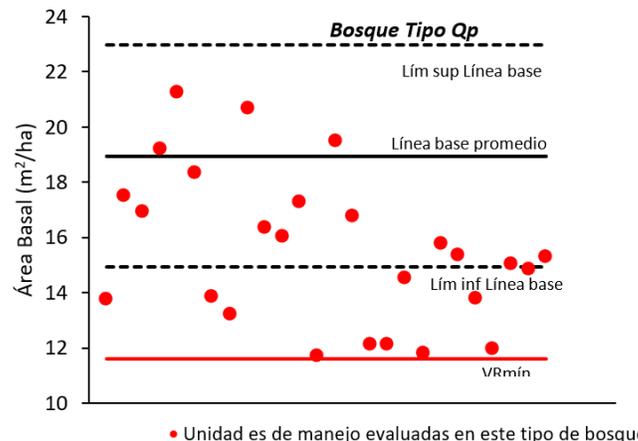
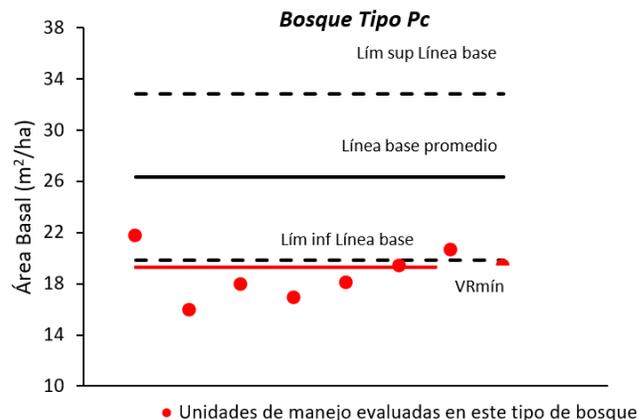
**Figure 2.** Distribution of the average basal area of each of the Management Units evaluated in the Northern Zone of Costa Rica that predominantly record the type of forest Pp according to Sesnie [19], with respect to the minimum reference value established in the national regulations and the baseline obtained for unmanaged forests of this type.

la subregión.

En el caso de la oficina subregional de Pital el tiempo de aprobación fue mayor con respecto a las demás subregiones y también fue la subregión que presentó las mayores desviaciones en el tiempo de aprobación, igual tendencia presenta el tiempo menor y el mayor de aprobación.

Con respecto a los profesionales que participaron en la elaboración y ejecución de los planes de manejo, se encontró que 7 ingenieros forestales independientes son los responsables de la elaboración de 18 planes de manejo y otros 7 ingenieros forestales asociados a organizaciones no gubernamentales (ONG 's) fueron los responsables de la elaboración de 32 planes de manejo en la Zona Norte, durante el período indicado.

Para la ejecución de los planes de manejo resueltos se identificaron 7 regentes independientes y otros 12 regentes asociados a ONG 's; no obstante, que los 7 regentes forestales independientes fueron los mismos que elaboran planes de manejo de forma independiente, en el caso de organizaciones, son 12 regentes asociados a la ejecución de los planes de manejo aprobados, estos regentes no necesariamente son los mismos que elaboran el plan de manejo.



**Figura 3.** Distribución del área basal promedio de cada una de la Unidades de Manejo, evaluadas en la Zona Norte de Costa Rica que se ubican en los tipos de bosque Pc y Qp según Sesnie [21], respecto al valor de referencia mínimo establecido en la normativa nacional y la línea base que se obtuvo para bosques no manejados de este tipo.

**Figure 3.** Distribution of the average basal area of each one of the Management Units, evaluated in the Northern Zone of Costa Rica that are located in the forest types, Pc and Qp according to Sesnie [19], with respect to the minimum reference value established in national regulations and the baseline obtained for unmanaged forests of this type.

La subregión con mayor cantidad de planes de manejo evaluados correspondió con San Carlos-Los Chiles, donde se localizó el 38 % de las UMF evaluadas. En el cuadro 4 se muestran la distribución por subregión y por año de aprobación de las UMF bajo análisis.

Los años donde se tramitó más planes de manejo corresponden con los años 2012, 2014 y 2015, mientras que el año con menor cantidad de planes de manejo tramitados es el 2017. Esto último se debió a que, a partir del 2017, en la Zona Norte, no se han tramitado más planes de manejo tradicionales, sino que los permisos en bosque han sido de madera caída, debido a la afectación que las diferentes UMF sufrieron debido a los embates del paso del huracán Otto en la región.

**Cuadro 7.** Línea base definida para el área basal de los bosques muy húmedos tropicales de la Zona Norte de Costa Rica.

**Table 7.** Baseline defined for the basal area of the very humid tropical forests of the Northern Zone of Costa Rica.

Relieve	Tipo de bosque**	Área basal ≥ a 30 cm de diámetro				Abundancia ≥30 cm de diámetro (árboles/ha)	Ubicación
		(m <sup>2</sup> /ha)	% Error de muestreo	Límite inferior (m <sup>2</sup> /ha) *	Límite superior (m <sup>2</sup> /ha) *		
Plano ondulado	Pp	22,43A	11,33	19,89	24,97	97,22	Pital-San Carlos
Lomerío	N/A	14,70B	17,14	12,18	17,21	79,42	San Juan de Pococí
Inundable	Pc	26,37A	24,66	19,86	32,87	89,42	Llanura de Sarapiquí
Lomerío	Qp	18,95AB	21,24	14,93	22,98	84,01	Pital-San Carlos

\*Al 95 % de confianza, \*\* según Sesnie [21] el tipo de bosque según las especies características presentes. Pp: bosques con *Pentaclethra macroloba* y, varias especies de palma; Pc: bosques con *Pentaclethra macroloba*, *Carapa guianensis*, *Welfia georgii*, *Socratea exorrhiza* y Qp: bosques con *Qualea polychroma*, *Dipteryx panamensis*, *Vochysia ferruginea* y *Couma macrocarpa*, varias especies de palma.

**Cuadro 8.** Línea base definida para el porcentaje de especies heliófitas efímera en los bosques muy húmedos tropicales de la Zona Norte de Costa Rica.

**Table 8.** Defined baseline for the percentage of ephemeral heliophytic species in the very humid tropical forests of the Northern Zone of Costa Rica.

Tipo de bosque**	Relieve	Abundancia ≥10 cm de diámetro (árboles/ha)	% Especies heliófitas efímeras	Límite inferior (%)*	Límite superior (%)*	% Error de muestreo*	Ubicación
Pp	Plano ondulado	436,36	13,11A	11,55	14,68	11,94	Pital-San Carlos
N/A	Lomerío	493,50	12,33 A	10,64	14,01	13,63	San Juan de Pococí
Pc	Inundable	460,85	9,99 A	7,65	12,33	23,39	Llanura de Sarapiquí
Qp	Lomerío	487,41	5,16 B	4,25	6,14	18,16	Pital-San Carlos

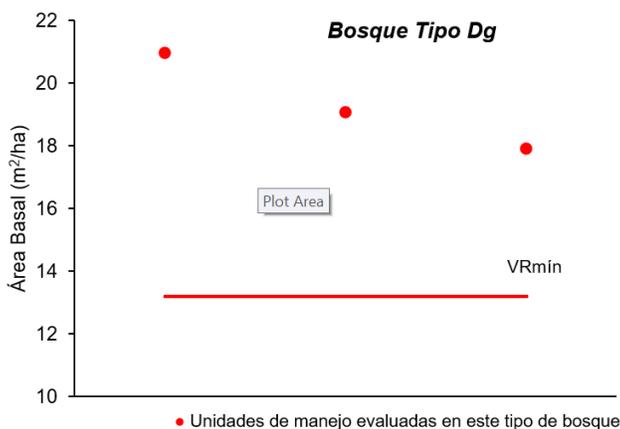
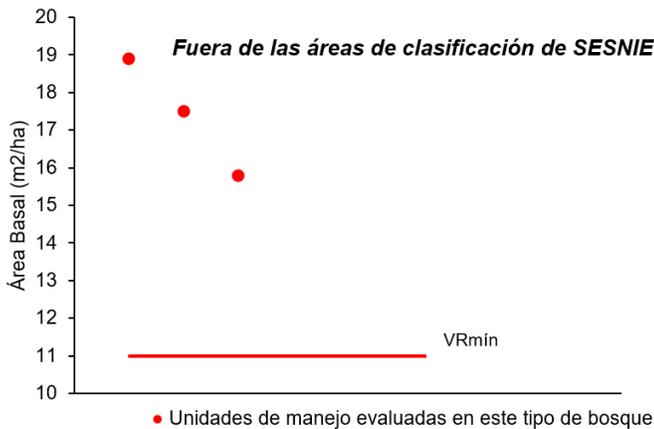
\*Al 95 % de confianza, \*\* según Sesnie [21].

El total de volumen autorizado en estas 50 UMF fue de 72 549,3 m<sup>3</sup>, correspondiente a 16 875 árboles distribuidos en más de 100 especies, todos con diámetros superiores a 60 cm. En el cuadro 5 se presentan un detalle por subregión, así como los promedio por hectárea. Este volumen representa menos del 50 % del volumen total censando en las especies comerciales autorizadas y que están arriba de 60 cm de diámetro. Se excluyó de este volumen el que aportan las especies vedadas, las especies poco frecuentes, las especies no comerciales, además de todos los individuos con diámetro inferior al mínimo de corta establecido.

### Variables cuantificadas

Se logró recabar información para cuantificar el 100 % de los indicadores de sostenibilidad definidos como indispensables. En el cuadro 6 se resume la descripción asociada a la cuantificación referente a los indicadores.

Un 40 % de los indicadores indispensables se cumplieron en todas las UMF evaluadas. Un 20 % de los indicadores indispensables se cumplieron al 100 % en el rango de 94-99,9 % de las UMF evaluadas. Un 10 % de los indicadores indispensables se cumplen parcialmente en el 100 % de las UMF evaluadas. En un 26,7 % de los indicadores indispensables se pudo evaluar el cumplimiento del 100 % solo entre el 22 y el 76 % de las UMF, en el restante de los casos la información no está disponible en las UMF para verificar el cumplimiento del indicador, o no es posible reconstruir la información para saber sobre el cumplimiento de estos. Solo 1 indicador seleccionado como indispensable (3,3 %) no se cumplió en ninguna UMF, este indicador es documental y perteneciente a la dimensión institucional, este se refiere a que el Estado debe tener un registro geográfico que esté asociado al registro documental, en este caso el registro documental existe en el 100 % de los casos y el registro geográfico existe en el 100 % de los casos, pero ambos registros



El tipo de bosque Dg contiene como especies características *Dialium guianense* y *Apeiba membranacea*.

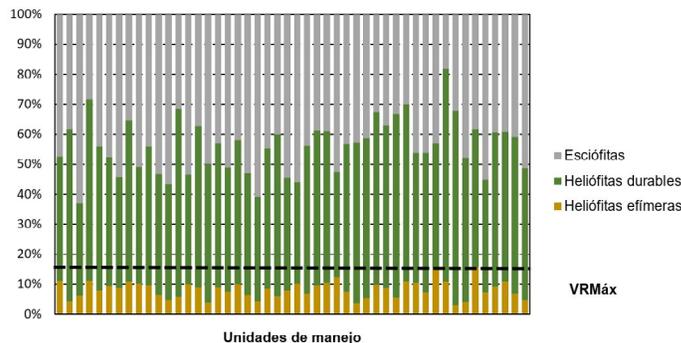
**Figura 4.** Distribución del área basal promedio de cada una de las Unidades de Manejo, evaluadas en la Zona Norte de Costa Rica que se ubican en los tipos de bosque Dg y las áreas fuera de la clasificación de Sesnie [21], respecto al valor de referencia mínimo establecido en la normativa nacional y la línea base que se obtuvo para bosques no manejados de este tipo.

**Figure 4.** Distribution of the average basal area of each of the Management Units, evaluated in the Northern Zone of Costa Rica that are located in the forest type Dg and the areas outside the Sesnie classification [19], with respect to the value minimum reference established in national regulations and the baseline obtained for unmanaged forests of this type.

no están asociados, es por ello que el indicador no se cumplió, es además un indicador que no tiene relación con la UMF.

En relación con la sostenibilidad, el criterio experto señala que de las 50 UMF evaluadas un 8 % fueron clasificadas como no sostenibles y un 92 % como sostenibles. El detalle del cumplimiento de los indicadores puede observarse en el cuadro 9.

Los resultados de la cuantificación serán útiles para la construcción de los modelos que permitan predecir



**Figura 5.** Proporción de especies por gremio ecológico para cada una de las Unidades de Manejo de bosque natural evaluadas en la Zona Norte de Costa Rica.

**Figure 5.** Proportion of species by ecological group for each of the Forest Management Units evaluated in the Northern Zone of Costa Rica.

la sostenibilidad de una UMF de bosque manejado en función de sus indicadores de sostenibilidad.

**Definición de línea base**

La línea base se definió con información del bosque natural sin intervención y se utilizan como estadístico de referencia el área basal por hectárea para todas las especies arriba de 30 cm de diámetro. En el cuadro 7 se muestran las referencias de esa línea base definidas para el área basal. Con esta línea base se estarían haciendo las comparaciones para las fincas que se cuantificarían en el objetivo dos del este estudio.

En el caso de las especies heliófitas efímeras, incluidas las especies indeterminadas, la línea base fue definida como se presenta en el cuadro 8. Con esta información se procedió a realizar las comparaciones de los bosques que se muestrearon en este estudio.

En la cuantificación realizada de todos los indicadores se recolectó información sobre los valores de referencia de área basal y existencia proporcional de especies heliófitas efímeras, esta información es de utilidad para corroborar el cumplimiento de dos indicadores indispensables. En la figura 2 se muestra la condición de cada UMF cuantificada por tipo de bosque según la clasificación de Sesnie [21], con respecto a su valor de referencia mínimo o máximo según corresponda y con respecto a la línea base del bosque sin manejar que fue posible obtener gracias a la existencia de parcelas permanentes de muestreo.

Puede observarse en este caso que todos los puntos están muy por encima del valor de referencia mínimo (VRmín) de área basal que la normativa establece para este tipo de bosque, cada punto refleja el área basal

**Cuadro 9.** Resultado de validación de Indicadores para uso en evaluación ex post de sostenibilidad de una UMF.

**Table 9.** Validation result of Indicators for use in ex post sustainability evaluation of a FMU.

Indicador	Accesible	Pertinente a la UMF	Costo	Dimensión	Calificación	Válido	Porcentaje de UMF que cumplen el indicador según nivel (%)
1.1.1. La AFE lleva un registro geográfico de las UMF	Difícilmente	No	Alto	Institucional	0	No	Sí=0 No=100
1.1.2. Durante el ciclo de corta las áreas boscosas mantienen sus características de extensión, forma perimetral y localización de acuerdo con lo establecido en el registro geográfico de las UMF	Fácilmente	Sí	Bajo	Institucional Ecosistema	1	Sí	Sí=100
1.1.3. La ubicación y las colindancias del área de bosque están claramente definidas en el terreno y concuerdan con la documentación catastral del o los inmuebles	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Institucional Social	1	Sí	Sí=100
1.2.1. La UMF es parte de un inmueble que cuenta con un título de propiedad, o contrato de arrendamiento legalmente inscrito, o derecho de posesión legalmente reconocido	Fácilmente	Sí	Bajo	Institucional Social	1	Sí	Sí=100
1.2.2. La UMF es parte de un inmueble que cuenta con un plano debidamente catastrado	Fácilmente	Sí	Bajo	Institucional	1	Sí	Sí=100
1.2.3. La forestal no presenta conflictos de tenencia	Fácilmente	Sí	Bajo	Institucional Ecosistema	1	Sí	Sí=100
1.3.1. La AFE lleva un registro documental del historial de la UMF de bosque, asociado al registro geográfico, que permite verificar en cualquier momento la cronología y el tipo de actividades realizadas y por ejecutar	Fácilmente	Sí	Bajo	Institucional Ecosistema	1	Sí	Sí=100
1.3.2. La información contenida en el registro documental de la unidad, sobre planes de manejo y otra información relevante, cuenta con la aprobación de la AFE	Fácilmente	Sí	Bajo	Institucional	1	Sí	Sí=0 Parcial=100
1.3.3. Los planes de manejo y sus respectivos cronogramas de actividades aprobados son respetados en el tiempo, tanto por el interesado como por la AFE, para garantizar la seguridad jurídica del manejo del bosque	Fácilmente	Sí	Bajo	Institucional Ecosistema	1	Sí	Sí=100
1.3.4. El plan de manejo aprobado cumple con lo establecido en el Código de Prácticas	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema	1	Sí	Sí=94 Parcial=6
1.3.5. Existe un registro de todas las actividades realizadas durante la ejecución del aprovechamiento	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Institucional Social	1	Sí	Sí=88 Parcial=12
1.3.6. La ejecución del aprovechamiento respeta los elementos aprobados por la AFE dentro de Plan de Manejo y sus modificaciones	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Institucional Social	1	Sí	Sí=94 No=6

*Continúa en la siguiente página*

Indicador	Accesible	Pertinente a la UMF	Costo	Dimensión	Calificación	Válido	Porcentaje de UMF que cumplen el indicador según nivel (%)
2.1.2. La prescripción de manejo es consistente con las limitaciones y capacidades productivas del tipo de bosque presente en la UMF	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Económica Social	1	Sí	Sí=94 Parcial=6
2.2.1. El bosque mantiene un área basal por hectárea superior o igual al valor de referencia por tipo de bosque para las especies comerciales y no comerciales en el área efectiva de manejo	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema	1	Sí	Sí=94 No=6
2.2.2. La abundancia de los individuos del gremio ecológico conformado por las especies heliófitas efímeras se mantiene en una proporción inferior o igual al valor de referencia	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema	1	Sí	Sí=96 No=4
3.1.1. La infraestructura establecida para el manejo forestal no presenta signos de que altere la calidad del agua en el sitio	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Social	1	Sí	Sí=100
3.1.2. Las nacientes permanentes, ríos, quebradas y arroyos (Artículo 33 Ley Forestal 7575) ubicados dentro del área de bosque no presentan signos de estancamiento, u obstrucción causados por las acciones directas del manejo forestal	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Social	1	Sí	Sí=98 No=2
3.1.3. No hay evidencias de contaminación por desechos sólidos y líquidos derivados de las actividades de manejo	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Social	1	Sí	Sí=100
3.2.1. Los caminos primarios y patios de acopio tienen las obras de conservación necesarias para minimizar la erosión y la sedimentación excesiva en las nacientes permanentes, ríos, quebradas y arroyos	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Social	1	Sí	Sí=54 N/Ev=46
3.2.2. Los caminos primarios y los patios de acopio están ubicados técnicamente y no abarcan un área mayor a un 2 % del área efectiva de manejo	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema	1	No	Sí=70 N/Ev=30
3.2.3. Al concluir el aprovechamiento, los caminos primarios públicos quedan habilitados para su uso y en un estado igual o mejor al de la condición de inicio del aprovechamiento inmediatamente después.	Difícilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Económica Social	0,8	No	Sí=26 N/I=74
3.3.1. No hay eliminación del sotobosque (socola) o quemas intencionales dirigidas al cambio de uso. Asimismo, dentro del bosque no se realiza ningún tipo de cultivo agrícola, actividades de pastoreo, u otras actividades que pongan en peligro la permanencia en el tiempo de los bosques manejados.	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema	1	Sí	Sí=68 No=2 N/Ev=30
3.3.2. En zonas de alta y mediana incidencia de riesgo de incendios forestales, según la clasificación del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), se establecen medidas preventivas (rondas cortafuegos) para el control de incendios forestales que promuevan la permanencia en el tiempo de los bosques manejados	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema	1	Sí	Sí=100
3.3.3. La tasa de cosecha de productos forestales maderables y no maderables no excede la tasa de crecimiento del recurso durante el ciclo de corta determinado, basándose en información de parcelas permanentes o en información secundaria verificable	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Económica	1	Sí	Sí=100

Continúa en la siguiente página

Indicador	Accesible	Pertinente a la UMF	Costo	Dimensión	Calificación	Válido	Porcentaje de UMF que cumplen el indicador según nivel (%)
6.2.1. En el plan de manejo se demuestra que los ingresos por los bienes y los servicios del aprovechamiento serán mayores que los costos en lo que incurre el propietario.	Difícilmente	Sí	Alto	Económica Social	0,6	No	Sí=10 N/I=90
6.3.2. El plan de manejo específico para el aprovechamiento de los otros bienes y servicios del bosque cumple con las disposiciones de la legislación vigente y los tratados internacionales ratificados por el país.	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Institucional Social	1	Sí	N/A=100
7.1.1. Existe un registro consolidado que incluye: volumen de producción y número de trozas por especie, por área de aprovechamiento anual y periodo de aprovechamiento, verificable con las respectivas guías de transporte y que concuerde con lo reportado en los informes de regencia.	Fácilmente	Sí	Bajo	Ecosistema Institucional Social	1	Sí	Sí=76 Parcial=24
7.1.3. Existe evidencia de que los tocones de los árboles cortados (X) están marcados con su respectivo número del censo, según la lista de árboles de corta y el mapa base de aprovechamiento.	Fácilmente	Sí	Bajo	Institucional Social	1	Sí	Sí=100
7.1.4. En los registros de la AFE se mantienen disponibles los informes de regencia requeridos	Fácilmente	Sí	Bajo	Institucional Social	1	Sí	Sí=88 Parcial=12
7.4.1. Existe un plan de monitoreo de la UMF que contempla aspectos de la condición del bosque después del aprovechamiento e impacto social de las operaciones.	Difícilmente	No	Alto	Ecosistema Institucional Social	0	No	Parcial=100

promedio que se registra en la UMF después de que ha pasado un ciclo de corta de 15 años. Cinco de las UMF evaluadas registran áreas basales que se encuentran dentro de los límites de confianza de la condición del bosque natural original antes de ser intervenido, lo que muestra su grado de recuperación.

En la figura 3 se muestra la situación que se presentó en las UMF evaluadas del tipo de bosque Pc y Qp, con respecto al valor de referencia mínimo establecido para los respectivos tipos de bosque según el área basal por hectárea.

En todos los casos, las áreas basales de límite inferior obtenidas al 95 % de confianza, superaron el valor de referencia mínimo que la normativa ha establecido según los tipos de bosque predominantes en la región. También puede verse que el tipo de bosque predominante en las UM que se evaluaron correspondieron con bosques tipo Qp. Más del 50 % de las UMF del período evaluado se ubicaron en este tipo de bosque. Aunque un alto porcentaje de las UM de la Zona Norte clasifican en el tipo Qp, es importante indicar que los bosques no son puros del tipo de bosque, sino que son predominantemente del tipo clasificado.

En el caso de los bosques Pc, Pp y Qp, a los cuales se les pudo ubicar una línea base a partir de información de parcelas permanentes, se encontró que aquellas UMF que clasificaron con el tipo de bosque con una proporción de área mayor al 70 % en ese tipo de bosque, se ubicaron dentro de las bandas de confianza del promedio de la línea base, pero cuando clasifica en el tipo de bosque en una proporción menor a ese 70 % se ubica sobre los valores de referencia mínimos establecidos por la normativa pero debajo de la banda inferior de confianza de la línea base definida.

En la figura 4 puede observarse que los tipos de bosque menos comunes muestreados en el período de evaluación, en la Zona Norte, pertenecen al tipo Dg. Además, se incluyó en este estudio 3 sitios de la Zona Norte que por su ubicación geográfica se encuentran fuera de las zonas de clasificación que Sesnie [21] realizó. En ambos casos se observa con claridad que los bosques registraron áreas basales muy superiores al valor de referencia mínimo que la normativa ha establecido en estos casos.

En relación con los gremios ecológicos (figura 5) para todas las UMF evaluadas se puede observar que la proporción de especies heliófitas efímeras no sobrepasa el 15 %, excepto en dos de los casos, en estas, a pesar de que el estadístico no se cumple, aun así, se aprobó el plan de manejo forestal y se ejecutó el aprovechamiento.

### Validación de indicadores

En el proceso de validar indicadores se encontró que

solo 25 de los 30 indicadores originalmente propuestos por el panel experto fueron válidamente posibles de utilizar. En el cuadro 9 se presentan los resultados de la validación utilizando los 3 criterios definidos.

Los resultados de esta validación mostraron que un 64 % de los indicadores válidos pertenecen a las dimensiones de ecosistema y social, un 56 % a la dimensión institucional y un 8 % a la económica. Solo 25 indicadores de 30 quedaron finalmente validados para su uso. Los indicadores no validados en su mayoría corresponden con aquellos cuyo costo de localización de información es alto, o bien la información no es accesible por algún motivo. Solo en uno de los casos el indicador no queda validado por corresponder con un indicador que no es pertinente a la UMF.

## Discusión

### Aspectos generales relacionadas con el sitio de estudio

Los resultados brindan información de lo que ha sucedido en el período evaluado con respecto a las UMF evaluadas y que registran aprovechamiento forestal entre el año 2012 y 2017. Las áreas promedio de manejo para cada UMF alcanza 109 ha con un área productiva de 76 ha promedio. En la Zona Sur de Costa Rica entre 1997-1998, Barrantes et al. [22] registraron que las áreas promedio bajo manejo eran de entre 22 y 57 ha, mientras que Meza y Méndez [23] reportaron manejo forestal en fincas de menos de 75 ha en la Zona Norte de Costa Rica, por su parte, McGinley y Cabbage [24] indicaron que el área promedio de manejo en Costa Rica es inferior a las 50 ha. Esta diferencia a nivel nacional puede deberse a que las áreas productivas están en función del tamaño del bosque en propiedad privada y del tamaño de las zonas de protección que se registren, en Costa Rica las fincas privadas de la Zona Norte son de mayor tamaño que las registradas en otras zonas del país, tal como lo reporta el último censo agropecuario realizado en el 2017.

Diferentes autores [23], [24], [25], [26] han discutido sobre los tiempos de aprobación de un plan de manejo en Costa Rica, en esta evaluación se encontró que hay una clara diferencia en los tiempos de aprobación, entre subregiones, una explicación de esto es que las UMF que se ubican dentro de áreas silvestres protegidas como es el caso de las UMF que corresponden a la subregión Pital, corresponden con inmuebles de dominio privado que, en su mayoría, están dentro del Parque Nacional Maquenque y en consecuencia debieron obtener dentro del proceso de aprobación del plan de manejo, una viabilidad de Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), esa viabilidad se tramita en San José y demora varios meses en otorgarse, lo que aumenta los plazos

de aprobación. Por su parte, Navarro y Bermúdez [25] reportaron que el tiempo promedio de aprobación de los planes de manejo ronda los 4,2 meses. Este tiempo es similar al reportado por las subregiones San Carlos-Los Chiles y Norte, no así para el caso de la subregión Pital. La repercusión más importante que tienen los tiempos de aprobación se da directamente sobre la competitividad de la actividad, los costos asociados a tener que esperar un permiso aumentan la incertidumbre sobre la actividad y aumentan también el riesgo de que se den actividades ilegales. Asimismo, Camacho [26] señala que el prolongado tiempo que debe esperar un productor forestal por un permiso es una barrera sensible en el manejo forestal sostenible.

Sobre el volumen de aprovechamiento y su intensidad, es claro que antes de los Principios Criterios e Indicadores de sostenibilidad, los aprovechamientos forestales en bosque representaban más del 70 % del volumen extraído en el país. En nuestros días, el volumen de madera extraído del bosque no representa más de un 6,5 % del volumen total. Esto es un cambio drástico en la fuente de materia prima del país. El principal motivo para este cambio está en la alta cantidad de restricciones legales que presenta el manejo sostenible de los bosques. Este aspecto es enfatizado por [26] y [25] de manera repetida en sus estudios, dejando manifiesto que cuando la rentabilidad disminuye por estas barreras al manejo, se pone en riesgo la misma sostenibilidad del bosque natural manejado. No obstante, Quirós [27] ha señalado que los bosques que producen más de 10 m<sup>3</sup>/ha, son bosques rentables, presentándose la máxima rentabilidad en bosques con más de 18 m<sup>3</sup>/ha. En esta evaluación es claro que con estas referencias los bosques manejados en la Zona Norte son rentables, no obstante, podría estarse presentando un sacrificio importante de la rentabilidad a partir de la gran cantidad de restricciones que presenta el manejo, tal como apuntan los autores [25]. Esto es importante de atender porque podría repercutir de forma importante en la sostenibilidad de las UMF que han sido manejadas, Salas-Garita y Soliño [17] ha encontrado que las condiciones legales técnicas y administrativas inflexibles es un aspecto que condiciona la sostenibilidad del manejo forestal en Costa Rica y esas condiciones legales, técnicas y administrativas están asociado a la labor de las instituciones, las políticas y la gobernanza en general.

### VARIABLES CUANTIFICADAS

Se pudo observar que 12 de los indicadores cuantificados se cumplen en el 100 % de las UMF, esto muestra que el nivel de ejecución de los planes de manejo forestal observa con detenimiento el cumplimiento de aspectos relacionados con la sostenibilidad. Sin embargo, también es importante hacer notar que existen indicadores que no serán útiles para generar modelos, en el tanto no ofrecen

variabilidad que nos permita explicar la sostenibilidad o no de una UMF.

Debido a esta situación de no variabilidad en los resultados de cumplimiento de los indicadores en las UMF tampoco se podría utilizar en la generación de modelos el indicador 1.1.1. Se agregan a esta lista el indicador 6.3.2. que no pudo ser evaluado en ninguna UMF debido a la carencia de información y el indicador 1.3.1. que se cumplió parcialmente en el 100 % de las UMF evaluadas. Esto significa que poco más del 53 % de los indicadores no podrían ser utilizados para modelar la sostenibilidad de las UMF.

Por otra parte, un poco más del 46 % de los indicadores evaluados se muestran cumplidos en un alto porcentaje de las UMF evaluadas lo que nos permite afirmar que en la ejecución del manejo forestal en Costa Rica se observa de forma estricta el cumplimiento de estos, lo que nos conduce a reafirmar no solo lo minucioso del control que se lleva, sino la calidad que se exige en las operaciones de manejo forestal relacionadas con la fase del aprovechamiento.

### DEFINICIÓN DE LÍNEA BASE

Dos de los indicadores de sostenibilidad que tradicionalmente han sido utilizados en Costa Rica, para la toma de decisiones sobre las cosechas son el área basal y la cantidad de individuos, ambos por hectárea. En el año 2008 con la emisión del Código de Prácticas actual [12] estos indicadores se mantienen; sin embargo, el indicador de abundancia se ha disgregado para analizarlo en función de la abundancia de los gremios ecológicos presentes, y muy especialmente de la proporción presente de especies pertenecientes al gremio ecológico de heliófitas efímeras. La razón de esta disgregación radica en el hecho de que los bosques, al ser un mosaico de sucesiones, presentan al mismo tiempo el estadio dinámico y el homeostático; en el primero es posible encontrar una alta proporción de especies heliófitas efímeras debido a que hay una alta tasa de crecimiento, producto normalmente de la actividad propia de cicatrización de claros, mientras que en presencia de estadio homeostático la proporción de especies por gremio ecológico crece para los gremios de heliófitas durables y esciófitas parciales.

El estándar costarricense ha considerado que un bosque que ya ha sido aprovechado puede ser aprovechado nuevamente si, entre otras cosas, al evaluar nuevamente su estructura y composición, este demuestra que ha recuperado el área basal y que la proporción de heliófitas efímeras es menor al 15 % del total de individuos arriba de los 10 cm.

En sentido estricto lo que se quiere es verificar que el bosque que ya ha sido aprovechado no solo haya

recuperado su área basal, sino que además demuestre que las especies presentes tienen una proporción propia de los bosques maduros en cuanto a la proporción de especies por gremio ecológico. Si el bosque ha recuperado su área basal, pero tiene más del 15 % de individuos perteneciente al gremio de heliófitas efímeras, entonces significa que la composición de las especies o se alteró sobre manera con las intervenciones anteriores y aún requiere de más tiempo para ser recuperado o bien la composición de las especies se alteró en tal nivel que la reposición de especies no se ha dado de forma adecuada, y por ende habría que esperar más tiempo para su recuperación.

En el presente estudio se ha cuantificado indicadores de UMF que han sido aprovechadas al menos una vez antes de que los PCI's existieran, y nuevamente aprovechados cumpliendo con PCI's, es por ello que se ha recurrido a la información de parcelas permanentes de muestreo que tengan información antes de que el bosque fuera intervenido por primera vez. En este sentido las líneas base confirman varios aspectos, el primero es que demuestran que los bosques no intervenidos no presentan proporción de especies heliófitas arriba del 15 % con respecto a las demás especies. Lo segundo que se confirma es que los bosques intervenidos una y dos veces no solo están retornando a las áreas basales originales con respecto a la línea base, sino que la composición de las especies por gremio también está demostrando que el bosque se ha cicatrizado a niveles similares a los que se tenían en el bosque antes de su primera intervención.

El tercer elemento que se está demostrando es que al ser los bosques un mosaico de sucesiones, cuando la UMF clasifica en un 70 % o más del área en el tipo de bosque según la clasificación de Sesnie [21], las áreas basales de los bosques ya intervenidos, una vez transcurridos 15 años desde la última cosecha, están retornando a niveles muy cercanos a los que el promedio y las bandas de confianza del bosque intervenido tienen para el área basal. Es importante indicar que no se han encontrado estudios publicados para el trópico que hayan demostrado estos 3 hallazgos.

Otro elemento de gran relevancia en señalar es que en el 94 % de los aprovechamientos autorizados en la Zona Norte durante el período de estudio cumplieron con ser aprobados para UMF que presentaron área basal superior al valor de referencia mínimo fijado por la normativa y 96 % de las UMF aprobadas para una segunda cosecha correspondieron con UMF cuyo valor de referencia máximo (VR<sub>máx</sub>) de presencia de heliófitas efímeras se cumplió, siendo estadísticamente inferior al 15 %. Para las UMF que no cumplieron con estos dos indicadores y que aun así recibieron una aprobación, se revisó de manera explícita lo sucedido con los datos de

campo y se comprobó que lo que sucedió es que se aplicó de forma equivocada la interpretación estadística a los resultados obtenidos, es decir, se aceptó hipótesis nula cuando en realidad debió rechazarse al momento de interpretar los resultados.

Especialmente importante para el caso de la Zona Norte es contar con monitoreo periódico de la línea base para el tipo de bosque Qp, pues ese tipo de bosque se presenta en el 52 % de las UMF de la zona; además, es importante lograr obtener información de parcelas permanentes de muestreo para los bosques del tipo Dg y Ta para definir su línea base pues en estos tipos de bosque definidos por Sesnie [21], no se ubicó para el presente estudio información; además, es importante lograr definir líneas base para otros tipos de bosque que quedan fuera de las zonas de clasificación de los bosques definidos también por Sesnie [21], pues el valor de referencia mínimo que se ha establecido para esos tipos de bosque se considera que podrían estar muy alejados del verdadero valor que debería considerarse como mínimo, lo que podría significar permitir perturbarlos más de lo que realmente se debería.

Es relevante también que el Estado y las organizaciones monitoreen parcelas permanentes en el tiempo pues ante los posibles efectos del cambio climático los valores de referencia para el área basal y la composición de especies por gremio ecológico de heliófitas efímeras podría modificarse por efecto de esta condición.

### Validación de indicadores

Validar una variable, significa que se está verificando la validez que la misma tiene en el contexto que se utiliza. No existen rangos de aceptabilidad predefinidos para este caso, Campos y Ortega [28] señalan que alcanzar el 80 % en criterios de validación para evaluaciones que pretenden acreditar sistemas de enseñanza es apropiado; sin embargo, en sistemas más severos como en el campo de la medicina [29] considera que la validación se debe otorgar a aquellos casos cuyos criterios muestren valores superiores al 95 %. Para este caso, considerado el grado de relevancia que tiene la sostenibilidad se consideró que para que el indicador sea válido, debería alcanzar un valor 100 % en los criterios definidos. De los 30 indicadores que Salas-Garita y Soliño [15] recomiendan utilizar en evaluaciones de la sostenibilidad se encontró que solo 25 de ellos alcanzaron la nota de 100 %, los indicadores 1.1.1., 3.2.2., 3.2.3., 6.2.1. y 7.4.1. no alcanzaron la nota de 100 % y por ello no se consideran válidos, esto significa que para cuantificar el indicador la información es difícilmente accesible, tienen un alto costo para localizar o reconstruir la información o no son pertinentes a la UMF sobre la cual se desea evaluar la sostenibilidad y por ello queda descartado su uso en una evaluación de sostenibilidad.

Los 25 indicadores elegidos representan todas las dimensiones de sostenibilidad que tradicionalmente se han definido especialmente la ecosistémica, y la social y en menor grado la económica, la dificultad encontrada para definir más indicadores económicos radica en el hecho que la información es altamente costosa de obtener, pues normalmente hay que construirla de cero.

## Conclusiones

Se logró validar 25 indicadores y considerando las particularidades de algunos de ellos se recomienda utilizar estos resultados para la elaboración de modelos de predicción de la sostenibilidad lograda en las UMF.

Si bien se logró cuantificar los indicadores de 50 UMF en la Zona Norte de Costa Rica, no fue posible localizar la información completa en todos los casos. La razón más común fue la no accesibilidad de la información y el alto costo o la imposibilidad de reconstruir la información para cuantificar el indicador, a pesar de esto se logró validar un 83,3 % de los indicadores propuestos para ser utilizados en evaluación ex post de la sostenibilidad de UMF.

Mantener un monitoreo periódico de las parcelas permanentes de muestreo es esencial para comparar estos resultados con el manejo forestal que se está llevando a cabo en los bosques; sin embargo, el costo asociado a este monitoreo debe ser procurado por el Estado, de preferencia en asocio con la academia, con el fin de que el costo de este monitoreo no se cargue a los costos del manejo forestal de cada UMF, dado que afectaría su rentabilidad.

Es esencial tener monitoreado todos los tipos de bosque que fueron definidos en el Código de Prácticas vigente, este monitoreo permitiría, en el largo plazo, determinar si los valores de referencia mínimos establecidos para el área basal y los máximos para el gremio de heliófitas efímeras debe modificarse.

## Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por el financiamiento del proyecto “Diseño de una metodología para evaluar el manejo sostenible de los bosques”.

A los funcionarios de las oficinas subregionales de San Carlos -Los Chiles, Pital y Norte del Área de Conservación Huetar Norte del SINAC quienes de forma desinteresada colaboraron en el suministro de información para llevar a cabo la cuantificación de información.

A los propietarios de fincas por permitir el acceso a las

mismas para realizar comprobación de campo.

A los estudiantes Leonardo Alvarez Alcazar y Geovanny Alfaro Figueroa quienes colaboraron en la remediación de parcelas permanentes.

## Referencias

- [1] L. A. Fournier, «El sector forestal de Costa Rica: antecedentes y perspectivas.» Agronomía Costarricense, vol. 2, n° 9, pp. 253-260., 1985.
- [2] R. Quesada, L. Acosta, M. Garro y M. Castillo, «Dinámica del crecimiento del bosque húmedo tropical, 19 años después de la cosecha bajo cuatro sistemas de aprovechamiento forestal en la Península de Osa, Costa Rica.» Tecnología en Marcha, vol. 5, n° 25, pp. 55-66, 2012.
- [3] L. Orozco, C. Brumér y D. Quirós, Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales. Manual técnico / CATIE; no. 63., Turrialba, Costa Rica, 2006.
- [4] P. Van Gossuma, B. Arts, R. De Wulf y K. Verheyen, «An institutional evaluation of sustainable forest management in Flanders.» Land use Policy, n° 28, pp. 110-123, 2011.
- [5] G. Hickey, «Evaluating sustainable forest management.» Ecological Indicators, vol. 2, n° 8, pp. 109-114., 2008.
- [6] F. Cubbage, D. Díaz, P. Yapura y F. Dube, «Impacts of forest management certification in Argentina and Chile.» Forest Policy and Economics, n° 12, pp. 497-504, 2010.
- [7] L. Armitaje, Directrices para la ordenación de los bosques tropicales: producción de madera (No. CIDAB-SD391-F6e-135), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 1999.
- [8] W. Maesa, M. Fontaine, K. Rongé y M. Hermy, «A quantitative indicator framework for stand level evaluation and monitoring of environmentally sustainable forest management.» Ecological Indicators, n° 11, pp. 468-479, 2011.
- [9] R. Quesada, «Editorial: Bosques naturales en Costa Rica y su Manejo.» Revista Forestal Mesoamericana Kurú, vol. 1, n° 9, pp. 1-2, 2006.
- [10] Leyes y Decretos, Ley Forestal No 7575, Costa Rica, 1996.
- [11] Leyes y Decretos, Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales: Principios, Criterios e Indicadores, Código de Prácticas y Manual de Procedimientos, Costa Rica, 2008.
- [12] Leyes y Decretos, Ministerios de Ambiente y Energía. R-SINAC-021-2009. Código de Prácticas, Costa Rica, 2009.
- [13] G. Sotto J y A. Ennals, «El manejo local de bosques, un instrumento para el desarrollo rural.» Documento de trabajo. FTTP/FAO, San José, Costa Rica, 1999.
- [14] S. M. Pires y T. Fidélis, «Local sustainability indicators in

- Portugal: assessing implementation and use in governance contexts.» *Journal of Cleaner Production*, n° 86, pp. 289-300, 2015.
- [15] C. Salas-Garita y M. Soliño, «Set of reference indicators for the evaluation of sustainable management of natural forests in Costa Rica: The relevance of the institutional dimension.» *Ecological Indicators*, n° 121, pp. 1-12, 2021.
- [16] SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación), «SINAC en números: informe anual de estadísticas SEMEC 2015.» Comps. B Pavlotzky, G. Rojas, San José, Costa Rica, 2016.
- [17] C. Salas y M. Soliño, «Estimating the Sustainability of Managed Natural Forests in Costa Rica—A Hybrid Delphi & Choice Experiment Approach.» *Forests*, vol. 10, n° 10, p. 832, 2019.
- [18] O. Masera, M. Astier y S. Lopez-Ridaura, «Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS.» *MundiPrensa-GIR*, Mexico, 2000.
- [19] IBM, SPSS Statistic. SPSS 23.0 for windows, Chicago. USA, 2014.
- [20] Microsoft, Excel versión 1808 de Microsoft Office Professional Plus 2019., 2019.
- [21] S. Sesnie, P. Gessler, b. Finegan y S. Thessler, «Integrating Landsat TM and SRTM-DEM derived variables with decision trees for habitat classification and change detection in complex neotropical environments.» *Remote Sensing of Environment*, vol. 5, n° 112, pp. 2145-2159, 2008.
- [22] G. Barrantes, Q. Jiménez, J. Lobo, T. Maldonado, M. Quesada y R. Quesada, «Evaluación de los planes de manejo forestal autorizados en el periodo 1997–1999 en la Península de Osa. Cumplimiento de normas técnicas, ambientales e impacto sobre.» Costa Rica, 1999.
- [23] V. Meza y J. Médez, «Segundas cosechas bajo un sistema policíclico de manejo para bosques húmedos tropicales. Región Huetar Norte, Costa Rica.» de Congreso Latinoamericano IUFRO (2, 2006, La Serena, CL), Chile, 2006.
- [24] K. McGinley y F. Cubbage, «Governmental regulation and nongovernmental certification of forests in the tropics: Policy, execution, uptake, and overlap in Costa Rica, Guatemala, and Nicaragua.» *Forest Policy and Economics*, n° 12, pp. 206-220, 2011.
- [25] G. Navarro y G. Bermúdez, «Análisis económico del impacto de las restricciones técnicas y legales sobre la rentabilidad del manejo bosques naturales y su competitividad respecto a otros usos de la tierra en Costa Rica.» SINAC-FAO- TCP/COS/3003, Costa Rica, 2006.
- [26] A. Camacho, «Diagnóstico corto sobre las barreras que desalientan el manejo de bosques naturales en Costa Rica y propuestas de solución.» Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. Forest Monitoring System for REDD+, Costa Rica, 2015.
- [27] D. Quirós, «Manejo sustentable de un bosque primario intervenido en la Zona Atlántica Norte de Costa Rica.» (Vol. 303). Bib. Orton IICA/CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1998.