

ÍNDICES GENERALES PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS FORESTALES

F. J. Zamudio-Sánchez; M. Esparza-Alvarado

División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. C.P. 56230.

RESUMEN

La sustentabilidad está interesada en la conservación de la capacidad productiva de un sistema para un futuro previsible. Dado lo anterior, se desprenden consideraciones necesarias para construir medidas que valoren apropiadamente la sustentabilidad de una determinada estrategia silvícola, ya que se carece de éstas. El enfoque de este trabajo no asegura la perpetuidad de la producción en un sistema forestal, simplemente garantiza la detección anticipada de la posible caída o destrucción del mismo para poder mantenerlo como un sistema generador de bienes. El estudio es de importancia si se considera que existe gran incertidumbre acerca de los resultados que se tendrán en las decisiones que el hombre toma, dentro y fuera del sistema, para el aprovechamiento de una masa forestal establecida. Las componentes involucradas en las medidas se apoyaron en ideas generalmente usadas en silvicultura, economía y estadística. Se analizan básicamente dos alternativas con algunas modalidades dentro de ellas.

PALABRAS CLAVES: Índices, sustentabilidad, sistema forestal, seguimiento, condición ideal.

GENERAL INDEXES TO EVALUATE THE SUSTAINABILITY OF FOREST SYSTEMS

SUMMARY

Sustainability is concerned with maintaining the productive capacity of a system for a foreseeable future. It is thus necessary to consider the construction of measurements that appropriately assess the sustainability of a given silvicultural strategy since these measurements are lacking. The approach used in this work does not assure the perpetuity of the production of a forest system, but it guarantees detection beforehand of its possible degradation or destruction so that it can be maintained as a system that generated goods. The study is important considering that there is much uncertainty about the results that man-made decisions will have on the use of a forest, inside and outside the system. The components involved in the measures were supported by ideas generally used in silviculture, economics and statistics. Basically, two alternatives, with a few modalities within each, are analyzed.

KEY WORDS: Indexes, sustainability, forest system, follow-up, ideal conditions.

INTRODUCCIÓN

Tomando como sustentabilidad al 'mantenimiento del *potencial* para nuestros bosques y ecosistemas acuáticos asociados para producir la misma cantidad y calidad de bienes y servicios a perpetuidad' (Franklin, 1995), se desprenden observaciones necesarias para construir medidas que valoren la sustentabilidad de una determinada estrategia silvícola, aun aquella de no intervenir en forma alguna al bosque. Estas medidas ya existen en sistemas agrícolas a pesar de las críticas que puedan tener (Barnett *et al.*, 1995).

El enfoque usado en este trabajo no nos asegura la perpetuidad de la producción de los recursos forestales, simplemente garantiza detectar a tiempo los cambios negativos que pongan en riesgo la sustentabilidad del

sistema, ayudados del seguimiento de los elementos operacionales y variables físicas.

Entre otras cosas, la sustentabilidad está esencialmente interesada en la conservación de la capacidad productiva de un sistema para un futuro previsible. En este trabajo el interés no es confrontar ideas generales sino concentrarnos en medidas apropiadas del desarrollo de un sistema forestal como las principales indicadoras de la sustentabilidad y así poder mantener un sistema generador de bienes vigilando permanentemente su estado para observar alguna disminución en su capacidad, detectar las causas que lo afecten negativamente y corregirlas en lo posible.

METODOLOGÍA

En este trabajo la construcción de los índices se hizo de tal forma que puedan ser utilizados ya sea con un

mínimo o con un amplio nivel de información sobre el sistema que se desee evaluar.

Aspectos de la sustentabilidad considerados

Los índices aquí propuestos se han construido para aplicarse a nivel de un bosque, independientemente de las especies animales y vegetales presentes. Se supone que el sistema de manejo que en ese bosque se aplique, será evaluado a través de los índices propuestos para determinar su posible sustentabilidad o no. Un aspecto relevante es que las medidas desarrolladas son para bosques ya establecidos que no estén en sus primeras etapas de crecimiento. El horizonte de tiempo de estudio puede estar determinado por un número de veces el turno silvícola o técnico. En cuanto a las dimensiones biológica, económica y social, en el presente estudio se ha seleccionado a la primera como la de mayor importancia pues se optó por un enfoque ecológico donde al bosque se le contempla como un valor de uso y no como un valor de cambio. La dimensión económica es incluida indirectamente, ya que se toma en cuenta la biomasa producida por el bosque. La dimensión social estará incorporada sólo en términos de los beneficios que el bosque proporcione a la población cercana a éste y aquellos que incidan en el medio ambiente.

Crterios técnicos que se siguieron para generar medidas e índices para evaluar la sustentabilidad

Se han usado las ideas de la productividad que la economía ha desarrollado a través de índices; las de equilibrio ecológico que la biología ha estudiado en las relaciones benefactor-beneficiario y las de categorías que la silvicultura utiliza para agrupar individuos con base en alguna característica sobre la formación de biomasa.

Principal indicador para intervenir un bosque

Cuando el administrador de un bosque asegura que su productividad en biomasa se está deteriorando por determinadas prácticas o impactos naturales y sociales, declara indirectamente, que dicho sistema no es sustentable bajo esas circunstancias. Indirectamente reconoce cómo debe ser aproximadamente ese bosque, lo que le permite proporcionar información para actuar sobre éste.

Información requerida al administrador del bosque

Una **primera alternativa** para construir las medidas y evaluar el comportamiento de un bosque, consiste en que el administrador, según su conocimiento derivado de las experiencias como silvicultor del mismo, registre las especies vegetales (y animales si se incluye fauna) que idealmente deben estar presentes y el número de individuos de cada una de ellas; es decir, que proporcione el vector $\mathbf{f}'_0 = (f_{10}, f_{20}, \dots, f_{s0})$ (el apóstrofo en \mathbf{f}_0 representa la transposición matricial), donde f_{i0} es el número total esperado de individuos por unidad de área (árboles/ha), de la

especie $i = 1, 2, \dots, s$. Información necesaria como punto de partida para la construcción de los índices. Aquí, se asume que el bosque no está sujeto a ningún manejo lo que es un tanto irreal.

En las siguientes dos alternativas queda implícito que el bosque estará sujeto a un determinado manejo que realice las prácticas silvícolas necesarias para el mejor desarrollo de éste.

Una **segunda alternativa** que se propone en este trabajo, es que el experto en el manejo del bosque proporcione las s especies de interés que deben estar presentes en el bosque y una variable seleccionada, de modo que, multiplicada por el número de individuos por cada especie, resulte en un valor aproximado de la biomasa producida por ella.

la **tercera alternativa** propuesta agrega a la segunda una condición ideal proporcionada por el silvicultor a través del número de individuos que deben estar presentes en el bosque.

Las variantes que se presentan en las tres alternativas son: **(i)** usar los totales esperados por cada especie (vegetal o faunística), **(ii)** en lugar de usar los totales esperados por cada especie, usar una distribución de este total a partir de alguna variable de interés, pudiéndose definir esta última, en función de cómo se represente mejor la distribución de los individuos en el campo. La distribución de los árboles de acuerdo a la variable seleccionada se obtendrá del modo que se hace en silvicultura para el manejo de un bosque, es decir, dividiendo el rango de los valores de la variable en k categorías. Tanto para la variante **(i)** como para la **(ii)**, será posible asignar: **(a)** una misma importancia para todas las especies (y categorías en el caso de analizar la distribución), **(b)** asignar diferente importancia para cada una de ellas, mediante valores positivos en el intervalo de $(0,1)$, que será dada por el silvicultor de acuerdo a la importancia que cada especie tenga en el bosque. En el desarrollo que sigue, sólo se abordará lo que concierne a la segunda y tercera alternativas, en donde se reitera que **(i)** y **(ii)** en conjunción con **(a)** y **(b)** determinarán diferentes variantes. La primera alternativa se omite porque un bosque racionalmente administrado determina un cierto plan de manejo, sin embargo, se puede consultar en Esparza (1997).

Actividades de campo necesarias

El silvicultor deberá determinar la superficie de estudio en el bosque y determinar el tamaño de la misma de acuerdo a los principios dasonómicos que se usan.

Los sitios deberán colocarse uniformemente a lo largo y ancho de la superficie de estudio de manera que representen objetivamente las condiciones del bosque. Se puede pensar en un muestreo dirigido cuyas parcelas tengan el arbolado promedio que está en el área de estudio.

El número de sitios quedará determinado por el área de estudio, cuidando que por cada 100 hectáreas se tenga al menos una hectárea representativa. Una intensidad de muestreo del 5 al 7% como se usa en los inventarios forestales de bosques mexicanos, de ser posible, sería mejor.

La dimensión de los sitios estará dada por el número de sitios que se deban muestrear en cada 100 hectáreas de manera que se tenga al menos una hectárea de medición.

Los sitios serán de tipo permanente.

El seguimiento en la masa forestal será del número de individuos de cada especie y categoría si es necesario. Del número de individuos presentes por especie (y categoría) se sacará un promedio sobre todos los sitios para cada una de ellas. Cuando se hagan mediciones de variables que se refieran a la acumulación de biomasa (altura, diámetro, etc.) se harán sobre cada uno de los árboles de los sitios de muestreo, obteniendo un promedio de estas variables para todos los sitios de cada una de las especies y clases si existen. Se hará, por sitio, el seguimiento de los elementos operacionales y variables físicas más relevantes para ese bosque.

Los intervalos de evaluación se harán de acuerdo al criterio del silvicultor.

Metodología propuesta para un bosque sin condición ideal y con manejo (segunda alternativa)

Se requiere que el experto en el manejo del bosque proporcione las s especies de interés que preferentemente deben estar en el bosque y una variable que multiplicada por el número de individuos de la misma resulte en un valor aproximado de la biomasa producida por ella. En estudios para especies maderables se puede pensar en la media de la variable combinada del diámetro normal y la altura total (D^2H); en especies no maderables, esta variable sería la media del diámetro de copa (DC) al cuadrado (DC^2). Si se incluyen especies animales se podría usar la variable peso. Cuando se tengan especies con diferente importancia el administrador agregará una ponderación que oscilará entre cero y uno. Así se construye un vector que represente estos valores, i.e., $\mathbf{p}' = (p_1, p_2, \dots, p_s)$,

$\sum_{i=1}^s p_i = 1$ donde las p_j serán constantes a través del tiempo y $p_i > p_j$ significará que la especie i es más importante que la especie j . Por último, si se desea incorporar la distribución de los individuos de cada especie se deberá hacer a través de categorías o clases de una variable dasométrica y lo antes dicho para cada especie ahora lo será para cada especie y categoría.

En esta alternativa se estima al silvicultor como la única persona capacitada y con criterio suficiente para determinar y aplicar los tratamientos silvícolas más apropiados para el desarrollo de las especies y productividad del bosque; como también de proporcionar la información arriba mencionada. El silvicultor actuará en el bosque

aplicando sus técnicas y al mismo tiempo evaluará su criterio para determinar estas técnicas.

(i) Medidas para el número total de árboles por especie

En este caso se requiere que el silvicultor registre las s especies y determine en el bosque, el número total de individuos por especie por hectárea que estén presentes en él (en cada tiempo de medición r), con lo cual será posible construir el vector $\mathbf{f}'_r = (f_{1r}, f_{2r}, \dots, f_{sr})$. Deberá medir también la variable que él declaró representativa para el cálculo de la aproximación de la biomasa producida por la especie. Los valores promedio de la variable medida en el tiempo r de las s especies proporciona el vector de medias $\mathbf{m}'_r = (m_{1r}, \dots, m_{sr})$. Con estos vectores se puede obtener una estimación de la biomasa producida por hectárea por especie en cada tiempo de medición r .

Para especies con la misma importancia.

(a1).- Tamaño del bosque.

Una medida del bosque estaría dada por cualquier función simétricamente monótona (monótona en cada coordenada manteniendo las demás fijas) de las coordenadas del vector \mathbf{f}_r y \mathbf{m}_r .

Definido el número de especies, estimado el número total de individuos por especie por hectárea y el valor medio de la variable que mide la biomasa, en un tiempo de medición r , se multiplica este valor medio por el número de individuos de cada especie por hectárea y se obtiene un promedio de la biomasa producida por especie para el tiempo de medición r , $m_{ir}f_{ir}$, $i = 1, 2, \dots, s$. La suma de éstas, denotada por b_r , determina el tamaño del bosque

en el tiempo r ; es decir, $b_r = \mathbf{f}'_r \mathbf{m}_r = \sum_{i=1}^s m_{ir}f_{ir}$, posterior-

mente se estima el tamaño para otro tiempo. Si en cada evaluación la producción de biomasa se muestra en deterioro señala la no sustentabilidad del sistema, esto implica la evaluación de otros aspectos, con la finalidad de clarificar las posibles causas de esta tendencia decreciente.

(a2).- Índice de comparación de tamaños del bosque entre los años r y t ($r > t$).

Otra alternativa de evaluación es hacer una comparación a través de un cociente de los resultados del tamaño del bosque en el periodo r entre el tamaño del bosque en el periodo t con $r > t$ periodos consecutivos, denotado por $b_{rt} = b_r/b_t$. Al no ocurrir ningún impacto negativo significativo o intervenciones fuertes se espera se comporte como una función monótona creciente hacia el valor de 1, y probablemente el comportamiento del bosque tienda a ser sustentable.

Otra forma de comparar los tamaños del bosque en todos los periodos es con respecto a un tiempo base.

Si después de un periodo largo de tiempo T el bosque se interviene para aprovechar algunos individuos de ciertas especies o por alguna labor silvícola o faunística, se puede usar la medida b_r/b_T , $r > T$, para dar seguimiento a la conducta del bosque, la cual en tanto sea creciente o constante indicará la posible sustentabilidad del mismo.

También puede manejarse respecto al tamaño del bosque en un año determinado o base. Es decir, si el año base es T_0 , se puede analizar la sucesión $b_{rT_0} = b_r/b_{T_0}$, la cual mientras sea creciente o constante apoyará la idea de sustentabilidad del bosque.

(b) Para especies con diferente importancia para cada una de ellas.

La forma de evaluación será como arriba en (a) sólo que los resultados estarán modificados por los pesos dados a las especies, definidos en el vector de ponderaciones $\mathbf{p}' = (p_1, p_2, \dots, p_s)$ e incorporados en el **Vector de totales ponderados** $\mathbf{f}_r^* = (p_1 f_{1r}, p_2 f_{2r}, \dots, p_s f_{sr})$, donde $p_i f_{ir}$ es el número total de individuos por hectárea de la especie i en el tiempo r ponderado por su peso p_i .

(b1).- Tamaño del bosque.

$$bp_r = \sum_{i=1}^s p_i m_{ir} f_{ir} = (\mathbf{f}_r^*)' \mathbf{m}_r$$

Esta medida también, como b_r , es simétricamente creciente en las coordenadas de \mathbf{f}_r y \mathbf{m}_r , por tanto, mientras crezca o sea constante habrá una acumulación de biomasa en el bosque o al menos se mantendrá en cierto punto permitiendo asignar la propiedad de sustentabilidad al sistema biológico bajo estudio.

(b2). Índice de comparación de tamaños del bosque entre los años r y t ($r > t$).

$$bp_{rt} = bp_r / bp_t$$

Las medidas b_{rt} y bp_{rt} comparten las mismas propiedades y se pueden usar del mismo modo.

(ii) Medidas para la distribución del número total de árboles por especie.

Además de contar con las s especies de interés y estimar la variable representativa para medir la biomasa producida por especie por hectárea en el bosque, el silvicultor deberá contar con la distribución de una variable medida sobre los individuos de la especie que los agrupe en, por ejemplo k categorías o clases de dicha variable. En caso de incluir fauna también se toma la distribución de una variable en categorías de peso, edad o tamaño. Esta información se arregla en las siguientes matrices.

Matriz de frecuencias en el tiempo r .

$$\mathbf{F}_r = \begin{bmatrix} f_{r11} & f_{r12} & \dots & f_{r1k} \\ f_{r21} & f_{r22} & \dots & f_{r2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{rs1} & f_{rs2} & \dots & f_{rsk} \end{bmatrix} = \{f_{rij}\}_{\substack{i=1,2,\dots,s \\ j=1,2,\dots,k}}, \text{ donde } f_{rij} \text{ es la}$$

frecuencia de la i -ésima especie en la j -ésima clase en el tiempo r .

Matriz de medias en el tiempo r .

$$\mathbf{M}_r = \begin{bmatrix} m_{r11} & m_{r12} & \dots & m_{r1k} \\ m_{r21} & m_{r22} & \dots & m_{r2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{rs1} & m_{rs2} & \dots & m_{rsk} \end{bmatrix} = \{m_{rij}\}_{\substack{i=1,2,\dots,s \\ j=1,2,\dots,k}}, \text{ donde } m_{rij}$$

representa el valor medio de la variable utilizada para evaluar biomasa en la i -ésima especie, j -ésima clase y tiempo r , de modo que, multiplicada por f_{rij} , estime aproximadamente la biomasa producida en la j -ésima clase de ésta especie i hasta el tiempo r .

Para expresar los diversos índices matricialmente se requiere introducir las siguientes notaciones.

Para cualquier matriz, aunque aquí se usa \mathbf{F}_r , ésta se representará por sus columnas o hileras como sigue,

$\mathbf{F}_r = [\mathbf{f}_{r(1)}, \mathbf{f}_{r(2)}, \dots, \mathbf{f}_{r(k)}] = [\mathbf{f}_{r1}, \mathbf{f}_{r2}, \dots, \mathbf{f}_{rs}]$, donde $\mathbf{f}_{r(j)}$ es la j -ésima columna de \mathbf{F}_r y \mathbf{f}_{ri} es la i -ésima hilera de \mathbf{F}_r escrita como columna.

Para cualquier matriz, aunque aquí se usa \mathbf{F}_r expresada por sus hileras, se tiene la siguiente diagonalización:

$$\text{ción: } \mathbf{D}'(\mathbf{F}_r) = \begin{bmatrix} \mathbf{f}'_{r1} & \mathbf{0}' & \dots & \mathbf{0}' \\ \mathbf{0}' & \mathbf{f}'_{r2} & \dots & \mathbf{0}' \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}' & \mathbf{0}' & \dots & \mathbf{f}'_{rs} \end{bmatrix}, \text{ donde } \mathbf{0} \text{ es el vector}$$

cero de orden k por 1. Note que esta matriz es de s hileras por sk columnas.

Para cualquier matriz, aunque aquí, de nuevo se usa \mathbf{F}_r expresada por sus columnas, se tiene la siguiente

$$\text{operación de verticalización: } \mathbf{F}_r^v = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_{r(1)} \\ \mathbf{f}_{r(2)} \\ \vdots \\ \mathbf{f}_{r(k)} \end{bmatrix}, \text{ resultando un}$$

vector de orden sk por 1.

Para cualquier vector, aunque aquí usamos el vector \mathbf{f}_r , se tiene la siguiente diagonalización:

$$\text{Diag}(\mathbf{f}_r) = \begin{bmatrix} f_{1r} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & f_{2r} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & f_{sr} \end{bmatrix}.$$

(a) Para especies y clases con la misma importancia.

La evaluación es igual que las presentadas en (i) para especies con igual importancia, pero aquí la comparación de los tamaños del bosque será en relación a las distribuciones de los individuos de cada especie. De las estimaciones obtenidas en campo se sacará un promedio por clase y especie, de este modo se determinará si la biomasa del bosque se está incrementando y tiende a cumplir los criterios de sustentabilidad.

(a1).- Tamaño del bosque.

$$db_r = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^s f_{rij} m_{rij} = (\mathbf{F}_r^{\mathbf{V}})' (\mathbf{M}_r^{\mathbf{V}})$$

Ahora se cuenta con una función monótona creciente de f_{rij} y m_{rij} correspondientes a cada especie y categoría en el tiempo r .

(a2).- Vector de tamaños por especie.

En esta circunstancia los tamaños de cada especie en el tiempo r pueden ser usados para compararlos con los de otro tiempo y observar el desarrollo del bosque por especie. Los s tamaños pueden arreglarse en el vector

$$\mathbf{b}_r = \left(\sum_{j=1}^k f_{r1j} m_{r1j}, \dots, \sum_{j=1}^k f_{rsj} m_{rsj} \right)' \\ = (\mathbf{f}'_{r1} \mathbf{m}_{r1}, \dots, \mathbf{f}'_{rs} \mathbf{m}_{rs})' = \mathbf{D}'(\mathbf{F}_r) \mathbf{D}(\mathbf{M}_r) \mathbf{1}_s$$

(a3).- Índice de comparación de tamaños del bosque entre los años r y t ($r > t$).

También es posible comparar los tamaños del bosque entre los años sucesivos r y t con $r > t$ y medir la tendencia en incremento de la biomasa del bosque para estos años.

$$db_{rt} = db_r / db_t$$

(a4). Vector de índices de comparación por especie

$$\mathbf{b}_{rt} = \left(\frac{\sum_{j=1}^k f_{r1j} m_{r1j}}{\sum_{j=1}^k f_{t1j} m_{t1j}}, \dots, \frac{\sum_{j=1}^k f_{rsj} m_{rsj}}{\sum_{j=1}^k f_{tsj} m_{tsj}} \right)' \\ = \{ \mathbf{b}'_r \text{Diag}^{-1}(\mathbf{b}_t) \}'$$

(b). Para especies y clases con diferente importancia para cada una de ellas.

En este caso se debe tomar en cuenta que cada categoría dentro de cada especie tiene una importancia diferente. La información al respecto puede presentarse en la siguiente matriz.

Matriz de ponderaciones $\mathbf{P} = \{p_{ij}\}_{\substack{i=1,2,\dots,s \\ j=1,2,\dots,k}}$, donde p_{ij}

es la importancia de la i -ésima especie en su j -ésima categoría.

Para la representación algebraica de los índices en esta parte se requiere incorporar la información de \mathbf{P} en la siguiente matriz.

Matriz de frecuencias ponderadas, $\mathbf{F}_r^* = \{p_{ij} f_{rij}\}_{\substack{i=1,2,\dots,s \\ j=1,2,\dots,k}}$, donde $p_{ij} f_{rij}$ es la frecuencia de la i -

ésima especie en la j -ésima clase en el tiempo r , ponderada por su importancia p_{ij} correspondiente.

(b1).- Tamaño del bosque.

$$dbp_r = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^s f_{rij} p_{ij} m_{rij} = (\mathbf{F}_r^{*\mathbf{V}})' (\mathbf{M}_r^{\mathbf{V}})$$

(b2).- Vector de tamaños por especie.

$$\mathbf{b}p_r = \left(\sum_{j=1}^k f_{r1j} p_{1j} m_{r1j}, \dots, \sum_{j=1}^k f_{rsj} p_{sj} m_{rsj} \right)' \\ = (\mathbf{f}'_{r1} \mathbf{m}_{r1}, \dots, \mathbf{f}'_{rs} \mathbf{m}_{rs})' = \mathbf{D}'(\mathbf{F}_r^*) \mathbf{D}(\mathbf{M}_r) \mathbf{1}_s$$

(b3).- Índice de comparación de tamaños del bosque entre los años r y t ($r > t$).

$$dbp_{rt} = dbp_r / dbp_t$$

(b4). Vector de índices de comparación por especie.

$$\mathbf{b}p_{rt} = \left(\frac{\sum_{j=1}^k f_{r1j} p_{1j} m_{r1j}}{\sum_{j=1}^k f_{t1j} p_{1j} m_{t1j}}, \dots, \frac{\sum_{j=1}^k f_{rsj} p_{sj} m_{rsj}}{\sum_{j=1}^k f_{tsj} p_{sj} m_{tsj}} \right)' \\ = \{ \mathbf{b}'p_r \text{Diag}^{-1}(\mathbf{b}p_t) \}'$$

Metodología propuesta para un bosque con una condición ideal y manejo (tercera alternativa)

Las modalidades de esta alternativa son las mismas que las de la segunda. La información requerida al silvicultor en cada una de las modalidades es también esencialmente la misma, agregando únicamente la condición ideal dada por el **número promedio de individuos por hectárea** para cada especie, y categoría si se considera una distribución de los individuos.

Esta alternativa juzga que el manejo del bosque determinará el número promedio de individuos por especie (y clase) por hectárea y que a través del tiempo se mantendrá este número promedio por medio de las diferentes prácticas silvícolas que se realicen (cortas de liberación, de regeneración, de saneamiento, intermedias, de pro-

tección, de selección, limpias, podas, cortas de mejoramiento y recuperación).

En esta tercera alternativa, se juzga al silvicultor como la persona capacitada y conocedora del comportamiento de un bosque en sus diferentes etapas de desarrollo. Además de ser capaz de nombrar las s especies y su importancia (ponderaciones), las variables más apropiadas para representar de mejor manera la producción de biomasa que el bosque manifieste, la distribución e importancia (ponderaciones) de los individuos de cada especie en el mismo y determinar el manejo de un bosque, también puede definir una **condición ideal**, establecerla y mantenerla a través del tiempo. En este caso el silvicultor no sólo reaccionará a lo que el bosque le señale, sino que buscará modelar una condición ideal en el mismo y operará sobre ella.

Como una consecuencia los índices de las distintas modalidades que serán usados aquí son exactamente los mismos que los de la segunda alternativa excepto que **en los cálculos de esta alternativa será posible usar el número promedio total de árboles por hectárea que el silvicultor estima ideal para cada especie (y clase) o una estimación de este número.**

Una vez que el silvicultor ha establecido su condición ideal en la masa forestal de su interés, además de proporcionar las s especies (y clases) y su importancia, el número total promedio de individuos por hectárea para cada una (o la distribución) y la variable definida para estimar la biomasa, deberá obtener por especie (y clase) un promedio de esta variable de todos los árboles de todas las parcelas de medición, generando

$$\mathbf{m}_r = (m_{1r}, \dots, m_{sr})' \quad (\mathbf{M}_r = \{m_{rij} \}_{\substack{i=1,2,\dots,s \\ j=1,2,\dots,k}}), \text{ para determinar}$$

los índices en cada periodo de tiempo estudiado. Tratará de mantener su condición ideal en el bosque a través de manejo durante el periodo de tiempo que dure el estudio. Para cuantificar la biomasa producida por especie, además de contar con la condición ideal, la que puede denotarse por $\mathbf{f}'_{0r} = (f_{01r}, f_{02r}, \dots, f_{0sr})$ o $\mathbf{F}_{0r} = \{f_{0rij} \}_{\substack{i=1,2,\dots,s \\ j=1,2,\dots,k}}$

según sea el caso, estimará el número de individuos por cada especie (y clase) generando $\mathbf{f}'_r = (f_{1r}, f_{2r}, \dots, f_{sr})$ ($\mathbf{F}_r = \{f_{rij} \}_{\substack{i=1,2,\dots,s \\ j=1,2,\dots,k}}$) en cada tiempo r , con la finalidad de

facilitar la planeación en las técnicas de manejo del bosque y a su vez mantener una menor variación en el tamaño deseado del mismo (número de individuos). La comparación de los índices calculados con \mathbf{f}_0 (\mathbf{F}_{0r}) contra aquellos calculados con \mathbf{f}_{0r} (\mathbf{F}_{0r}) estará indicando el alejamiento que la condición ideal tiene de la real y la urgencia de realizar los trabajos necesarios que cierren la diferencia.

Esta alternativa se juzga como la más importante, ya que los índices básicamente estarán evaluando la sustentabilidad de la condición ideal proporcionada por el

silvicultor, es decir, evaluarán la modelación del bosque y no lo que éste determine al silvicultor hacer.

Impactos negativos temporales en el tamaño del bosque

A lo largo de las evaluaciones que se realicen para tratar de encontrar elementos que den señales sobre la no sustentabilidad de un bosque es posible que se presenten impactos temporales (incendios, plagas, sequías severas, talas clandestinas inmoderadas etc.), que afecten negativamente el tamaño de éste. Lo que en esta sección se propone pretende dar alguna idea para corregir datos en el tiempo, afectados en algún momento por algún impacto, de manera aproximada y sencilla.

Es claro que los índices propuestos deben ser calculados con los datos corregidos, de otro modo no podrán ser comparables a través del tiempo por carecer de una misma base.

Sea T_t el tamaño estimado del bosque en los tiempos $t = 1, 2, \dots, \tau$, y suponga que durante el tiempo $t \in (s-1, s]$, $s = 1, 2, \dots, \tau$, se presentó un efecto negativo temporal que afectó la variable bajo estudio T_t . Al comparar T_s con T_{s-1} , por ejemplo T_s/T_{s-1} , se encontrará una caída en el tamaño del bosque que obviamente no puede ser tomada como un indicio de no sustentabilidad del sistema. Se analizan tres posibles casos.

Primero: Si de $t = 0$ al tiempo $t = s - 1$ se cuenta con un número de observaciones no muy pequeño (mayor a 10) se podrá ajustar una regresión del tipo. In $T_i = a \ln T_{i-1} + e_i$, $i = 1, 2, \dots, s-1$ para obtener una predicción de T_s , i.e., $\hat{T}_s = T_{s-1}^{\hat{a}}$ donde \hat{a} es la velocidad estimada del crecimiento del tamaño. Una estimación de la reducción ocasionada por el impacto sería $\hat{T}_s - T_s$ y la serie de tamaños T_0, T_1, \dots, T_{s-1} podría ser corregida para obtener una nueva. $T_i^* = T_i - (\hat{T}_s - T_s)$, $i = 0, 1, 2, \dots, s-1$, cuya ventaja sería presentar los mismos incrementos que la serie original en los tiempos $t = 1, 2, \dots, s-1$ y en el tiempo $t = s$, el tamaño T_s presentaría un incremento respecto a sus valores en el pasado consistente con éste. La serie modificada a analizar en el estudio de no sustentabilidad será $T_0^*, T_1^*, \dots, T_{s-1}^*, T_s, \dots, T_T$.

Segundo: Si de $t = 0$ al tiempo $t = s - 1$ se cuenta con un número chico de observaciones, se podría tomar un promedio de las últimas dos diferencias

$$d = \left[\frac{(T_{s-1} - T_{s-2}) + (T_{s-2} - T_{s-3})}{2} \right] = (T_{s-1} - T_{s-3})/2$$

para obtener $\hat{T}_s = T_{s-1} + d$ y hacer lo mismo que en el primer caso.

Tercero: Si se tienen tan pocas observaciones que no se puedan calcular dos diferencias consecutivas como en el segundo caso sería mejor reiniciar el estudio.

Sobre la forma de evaluación.

Partimos de que se tienen mediciones del tamaño del bosque en los tiempos $t = 0, 1, 2, \dots, \tau$, denotados por T_t , previamente corregidos por impactos negativos temporales de modo que ellos puedan ser comparables. Ya sea que se estudien directamente los valores T_t o los valores, $K_t = T_t/T_{t-1}$, $t = 1, 2, \dots, \tau$, decrementos en estas series son indicativos de una condición no sustentable. En condiciones normales estos valores difícilmente decrecerán, se requieren condiciones extremas para que ocurra este evento. En general T_t o K_t serán series crecientes y la velocidad de su crecimiento será lo que determinará, de alguna manera, el grado de sustentabilidad del sistema en las condiciones de manejo en que se encuentre. Para tener una estimación de esta velocidad de crecimiento podemos ajustar a T_t o K_t una función del tiempo monótona creciente asintótica al supuesto tamaño promedio máximo alcanzable en una hectárea, la que se denota por T_t^* o K_t^* , respectivamente. Definitivamente, dT_t^*/dt y dK_t^*/dt (derivadas totales con respecto al tiempo) son estimaciones de las velocidades de crecimiento de T_t y K_t respectivamente, en el tiempo t .

Si se contará con velocidades de crecimiento óptimas para cada tiempo t , cualquiera declararía indicios de no sustentabilidad del sistema si las tasas de crecimiento observadas fueran muy pequeñas en comparación a las óptimas.

Si se contará con un modelo de crecimiento óptimo del bosque, obtenido de algún modo, para T_t o K_t , digamos T_t^* y K_t^* , entonces se podrían obtener bandas de confianza (por ejemplo, con un nivel del 95%) para T_t^* o K_t^* y, de estar la curva T_t o K_t , según sea el caso, por abajo del nivel superior de confianza en todo t , las tasas de crecimiento reales podrían aceptarse cercanas a las óptimas, conduciendo a declarar que no hay indicios de que el sistema no sea sustentable. En el momento que la curva T_t o K_t , se ubique por arriba de este nivel hay suficiente evidencia para sospechar que el sistema no es sustentable en esas condiciones, obligando a buscar las causas que están ocasionando la caída en la tasa de crecimiento.

Cuando se cuenta con tasas de crecimiento óptimas en ciertos periodos de tiempo, si las observadas están por abajo de las óptimas pero la diferencia entre ambas permanece aproximadamente constante o tiende a decrecer, la caída en la velocidad de crecimiento fue temporal y su efecto permanece a través del tiempo o tiende a desaparecer. Si las observadas están por abajo de las óptimas y la diferencia entre éstas tiende a crecer a través del tiempo, la caída es permanente y se está en una situación crítica. En el otro caso, donde se cuenta con un modelo de crecimiento óptimo del tamaño del bosque T_t^* o K_t^* , si se mantiene por encima del nivel superior de la banda de confianza de T_t^* o K_t^* , según el caso, pero la diferencia $T_t^* - T_t$ ($K_t^* - K_t$) es aproximadamente constante o tiende a decrecer, la caída en la tasa de crecimiento fue temporal y su

efecto permanece a través del tiempo o tiende a desaparecer. Si la diferencia $T_t^* - T_t$ ($K_t^* - K_t$) tiende a crecer con el tiempo, entonces la caída es permanente y se tiene una situación crítica.

Cuando se cuenta con velocidades de crecimiento óptimas o un modelo de crecimiento óptimo para el tamaño del bosque bajo estudio, se tiene una referencia contra la cual juzgar el comportamiento real del mismo. Esto es la esencia de cualquier valoración de sustentabilidad que se desee hacer en algún sistema.

Por lo anterior, elementos indispensables en esta visión de sustentabilidad son las tasas óptimas de crecimiento en ciertos periodos de tiempo o un modelo del crecimiento óptimo del tamaño del bosque como función del tiempo a través del horizonte de estudio. Para obtener los elementos mencionados, una posibilidad sería contar con datos históricos. De no existir datos históricos, otra posibilidad sería establecer parcelas modelo de comparación independientes a las parcelas de muestreo donde pudieran obtenerse las tasas óptimas de crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dado que los ecosistemas forestales están compuestos por una gran variedad de especies forestales y animales, que tienen una función importante dentro del mismo, y que, por muchos años han mostrado ser sustentables sin intervención alguna por parte del hombre, el permanente deterioro que puede reconocerse en ellos tiene que ser acreditado a las decisiones que éste toma en el interior del mismo (silvicultura) o fuera de él (externalidades) para cubrir sus necesidades, las que han aumentado notablemente en los últimos años en razón directa del crecimiento demográfico. Al demandarse más productos del bosque se obliga a que éste crezca más rápidamente o se aumenten las áreas silvícolas. En el primer caso se intensifica la producción vegetal afectándose principalmente la variable física suelo y en cierta medida algunos elementos operacionales, estos cambios pueden afectar negativamente el desarrollo del bosque. En el segundo caso el recurso tierra es finito. La demanda crece si la población lo hace, así, al crecer aquella también aumentan las externalidades ocasionadas por las actividades de la población potenciando la fuerza opuesta a la sustentabilidad del ecosistema. Indudablemente, como se ha mencionado en muchas partes, es el tamaño de la población la variable con mayor peso en la sustentabilidad de cualquier sistema, no obstante, por el momento, se tiene que evaluar el posible daño que están sufriendo los recursos forestales para tener la evidencia que permita instrumentar las decisiones que lo detenga y posiblemente corrija. La situación señalada generó la idea de proponer ciertas medidas para evaluar el efecto conjunto de la acción del silvicultor y las externalidades, haciendo posible distinguir el causante de alguna acción negativa si se da seguimiento simultáneamente a las variables físicas y los elementos operacionales.

Es muy difícil declarar que un determinado sistema forestal es o no sustentable. La componente principal del mundo, el cambio, no permite aseveraciones de largo plazo que tengan aceptables errores. Sin embargo, observar el desarrollo de un sistema y comparar lo que ha ocurrido en él con lo que está sucediendo en el presente es relativamente fácil y razonablemente puede indicarnos cambios en el mismo que nos alerten del peligro que corre la sustentabilidad del sistema. Consecuentemente la estrategia para medir lo sustentable es el seguimiento y no la predicción. Aún así, después de detectar algún cambio negativo en el sistema, se debe encontrar una causa atribuible que lo esté ocasionando. Cuando los cambios son grandes generalmente es fácil encontrar las causas que los provocan, cuando son pequeños pueden no ser importantes. Se puede por tanto decir que el propósito de los índices es el control de la calidad del sistema, en tanto los índices se comporten de cierto modo se puede pensar que el sistema está bajo control, o equivalentemente, que no hay evidencias de no ser sustentable, de otro modo indicarán que algo ha puesto fuera de control al sistema.

El buscar funciones monótonas para las medidas propuestas en las variables que los componen facilita el seguimiento de la conducta del bosque. Si las variables crecen, así lo harán estas medidas y si las variables involucradas miden de algún modo la biomasa producida por el bosque, entonces una caída en ésta producción será evidente en la caída de la medida correspondiente señalando esta situación y la alerta de peligro en el sistema.

Los posibles resultados que se obtengan del uso de estas medidas estarán en función de la calidad de los datos obtenidos en los muestreos necesarios para su cálculo, pero superado este aspecto técnico las medidas proporcionarán una gran ayuda para determinar el comportamiento pasado de la masa forestal y a través de este explicar el que se tenga en el presente. Adicionalmente se desprenderán de este análisis los elementos que permitan declarar si es o no sustentable.

CONCLUSIONES

En México se cuenta con información muy limitada o inexistente para realizar este tipo de evaluaciones por lo que se requiere iniciar su colección.

Una opción que se ha desarrollado, para el caso en que no se tenga información histórica del bosque, es establecer parcelas modelo de comparación.

Las medidas que se han propuesto en el presente trabajo se consideran de utilidad a situaciones reales. Evalúan simultáneamente los efectos de las decisiones tomadas por el silvicultor y los asociados a las externalidades. Si, adicionalmente, se cuenta con el seguimiento de los elementos operacionales y las variables físicas se podrá discriminar con mayor facilidad, al encontrar indicios de no sustentabilidad, de donde provienen estos efectos y proceder a su corrección.

La desventaja que se presenta para hacer uso de las medidas desarrolladas, es que generalmente requieren de una base de datos que comprenda un periodo de estudio en el bosque bajo manejo bastante amplio.

Los tres casos desarrollados en el apartado de impactos negativos temporales en el tamaño del bosque, deben usarse para estandarizar la serie de datos con que se trabaje de modo que los elementos de la misma sean comparables.

La forma de valorar la sustentabilidad de un sistema forestal puede estar basada en el comportamiento de las tasas de crecimiento de la biomasa, indistintamente de la medida que se use para compararlas.

LITERATURA CITADA

- BARNETT, V.; JOHNSTON, A. E.; LANDAU, S.; PAYNE, R. W.; WELHAM, S. J.; RAYNER, A.I. 1995. Sustainability-The Rothamsted Experience. *In: Agricultural Sustainability, Economic, Environmental, and Statistical Considerations*. Barnett V., Payne R. and Steiner R. (eds.). 1995. John Wiley & Sons. New York. pp 171-206.
- CASSMAN, K. G.; STEINER, R. W.; JOHNSTON, A. E. 1995. Long-term Experiments and Productivity Indexes to Evaluate the Sustainability of Cropping Systems. *In: Agricultural Sustainability, Economic, Environmental and Statistical Considerations*. Barnett V., Payner R. and Steiner.R. (eds.). 1995. John Wiley & Sons, New York. pp: 231-243.
- DIEWERT, W. E. 1989. The Measurement of Productivity, Discussion paper 89-04, Department of Economics, University of British Columbia. pp: 31
- ESPARZA, A. M. 1997. Índices generales para evaluar la sustentabilidad en sistemas forestales. Tesis de maestría en ciencias en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp: 134
- FAO. 1988. Aspects of FAO policies, programmes, budget and activities aimed at contributing to sustainable development. FAO Council paper. pp: 133
- FAETH, P.; REPETTO, R.; KROLL, K.; DAI, Q.; HELMERS, G. 1991. Paving the farm bill: U.S. Agricultural Policy and the Transition to Sustainable Agriculture, World, Resources Institute, Washington. pp:4
- FRANKLIN, F. J. 1995. Sustainability of Managed Temperate Forest Ecosystems. *In: Defining and Measuring Sustainability*. Munasinghe M. and Shearer W. (eds.). 1995. the United Nations University (UNU) and The World Bank, Washington. 439pp

- GOLLOP, F. M.; JORGENSON, D. W. 1980. U.S. Productivity Growth by Industry, 1947-1973. *In: New Developments in Productivity Measurement and Analysis*. Kenricks, J. W. and Vaccara, B. N. (eds.). 1980. University of Chicago Press for the N.B.E.R., Chicago. pp:130
- GOW, D. D. 1992. Aspectos sociales de la ordenación forestal para el desarrollo sostenible. *In: Sostenibilidad*. Unasyva. (ed.). 1992. Vol 43(169): pp: 34-40
- HERDT, R. W.; LYNAM, J. K. 1992. Sustainable Development and the Changing Needs of International Agricultural Research. *In: Aseesing the Importance of International Agricultural Research for Sustainable Development*. Lee, D. R., Kearn S., Uphoff, N. (eds.). 1992. Symposium proceedings at Cornell University.
- HERDT, R. W.; STEINER, R. A. 1995. Agricultural Sustainability: Concepts and Conundrums. *In: Agricultural Sustainability, Economic, Environmental and Statistical Considerations*. Barnett V., Payner R. and Steiner R. (eds.). 1995. Jhon Wiley & Sons, New York. pp: 3-12
- KEMP, H. R. 1992. Conservación de los recursos genéticos en la ordenación de los bosques tropicales. *In: Sostenibilidad*. Unasyva. (ed.). 1992. Vol. 43(63): pp:34-40
- LYNAM, J. K.; HERDT, R. W. 1989. Sense and Sustainability: sustainability as an objective in international agriculture research. *J. Agric. Econ.*, 3, pp 381-398
- MUNASINGHE, M.; SHEARER, W. 1995. Defining and Measuring Sustainability, The United Nations University (UNU) and World Bank. 440pp
- NAMBIAR, K. K. M. 1995. Major Cropping Systems. *in: India. In Agricultural Sustainability, Economic, Environmental and Statistical Considerations*. Barnett V., Payner R. and R. Steiner. (eds.). 1995. John Wiley & Sons, New York. pp: 133-168
- RAYNER, I. A.; WELHAM, S. J. 1995. Economic and Considerations in the Measurement of Total Factor Productivity (TFP). *In: Agricultural Sustainability, Economic, Environmental and Statistical Considerations*. Barnett V., Payner R. and Steiner R. (eds.). 1995. John Wiley & Sons, New York. pp: 23-38
- STEINER, A. R.; MCLAUGHLIN, L.; FAETH, P.; JANKE, R. R. 1995. Incorporating Externality Costs into Productivity Measures: A Case Study Using US Agriculture. *In: Agricultural Sustainability, Economic, Environmental and Statistical Considerations*. Barnett V., Payner R. and Steiner R. (eds.). 1995. John Wiley & Sons, New York. pp: 209-229