

ANEXO: SISTEMA DE MONITOREO SILVICOLA Y AMBIENTAL DEL MANEJO FORESTAL (NIVEL PREDIAL)

El presente programa de manejo forestal contara con un programa de monitoreo derivado del establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes que pretenden apoyar a los responsables de manejo forestal a observar diversas variables silvícolas, económicas y ecológicas relevantes. Esta información es sumamente importante para conocer el grado de cumplimiento de los objetivos planteados respecto a la conservación y uso adecuado de la biodiversidad, al mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales, al mantenimiento y mejoramiento de los valores relevantes del bosque, propuestos en este programa de manejo. Asimismo, es primordial para detectar impactos negativos en indicadores clave para el manejo forestal sostenible. Los impactos negativos que interesa conocer son aquellos resultantes del manejo, por lo que pueden reducirse o eliminarse de ser necesario mediante modificaciones al plan de manejo, de manera que se logren prácticas de manejo forestal sostenibles.

La información derivada de los sitios permanentes pretende entre otros aspectos alcanzar los siguientes objetivos:

- a) Generar la información necesaria para el desarrollo y validación de modelos de crecimiento en diámetro, altura, volumen, incorporación, mortalidad, índice de sitio, etc., todos ellos muy útiles en la ejecución de este programa de manejo forestal.
- b) Estimar el potencial productivo de las diferentes especies a través del análisis de la altura dominante.
- c) Proporcionar datos sobre el efecto de la silvicultura en el crecimiento de especies comerciales y sobre las características físicas y químicas del suelo.
- d) Evaluar cambios a largo plazo (mejoramiento o degradación) en el sitio y su capacidad productiva.
- e) Caracterización y modelización de la estructura espacial de los rodales.
- f) Cumplir con el principio 8 del estándar de certificación forestal del Consejo de Manejo Forestal (FSC).
- g) Desarrollo de indicadores clave para el manejo forestal sostenible.

Considerando que la estructura del estrato arbóreo es un buen indicador de la biodiversidad del sistema forestal y es fácilmente modificable a través de la silvicultura (Pretzsch, 1998; Del Río et al., 2003; Corral et al., 2005). El sistema de monitoreo propuesto en este programa de manejo se basa en la caracterización dasométrica y estructural de 10 sitios permanentes de investigación forestal establecidos a través de la metodología desarrollada por Corral-Rivas et al. (2009). La información de los sitios será utilizada para la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos, tanto en localidades bajo aprovechamiento, como en áreas en receso, donde pueden observarse procesos de sucesión natural, así como efectos provocados por actividades antropogénicas, por lo que su utilización potencializa una gestión sostenible (Albert et al., 1995; Aguirre, et al., 1998; Corral et al., 2005). La ubicación de los sitios se muestra en la siguiente figura:

FIGURA UBICACIÓN

Una determinada mezcla de especies determina entre otras cosas, el régimen de luz (Canham et al., 1994) y la composición de la materia orgánica (Ferrari, 1999), controlando así una gran variedad de procesos bióticos a abióticos. El tipo de distribución espacial está estrechamente relacionado también con el régimen de luz y el patrón de regeneración presente dentro de rodal (Emborg 1998) y tiene efectos significantes en el crecimiento y producción de madera (Pretzsch 1995). La diferenciación dimensional, ya sea vertical u horizontal determina la variación espacial de las condiciones microclimáticas, disponibilidad de alimentos y la complejidad estructural, que a su vez afectan directa e indirectamente la presencia de diferentes animales y plantas (Spies 1998, Brokaw and Lent 1999).

El esquema de monitoreo propuesto pretende funcionar de la siguiente manera. Partiendo de la primera medición la estimación del número de árboles por hectárea (N), el área basal por hectárea (G), el diámetro medio (dm), la altura media (Hm), la altura dominante (H0), el diámetro dominante (D0), además de una serie de índices estructurales utilizados para la caracterización de la estructura espacial de

los ecosistemas, se define la línea base como se muestra en el Cuadro 1. Nótese que la numeración del sitio corresponde con los números de la base de datos nacional de sitios permanentes de investigación integrada para la gerencia de desarrollo forestal sustentable de la CONAFOR a través del proyecto %Guía para el Establecimiento, Seguimiento y Evaluación de Sitios Permanentes de Monitoreo en Paisajes Productivos Forestales (clave: CONAFOR-CONACYT-115900). La caracterización de los tres componentes estructurales considerados dentro del sistema de monitoreo (la diversidad de especies y el grado de mezcla, la distribución espacial, y el grado de diferenciación), se basó en la estimación de 7 índices desarrollados para la caracterización de la diversidad estructural (Tabla 1). La base para la determinación de tales índices la constituyó un método de muestreo conocido como grupo estructural de los cinco árboles (Corral et al. 2005). Este sistema de muestreo fue desarrollado por un grupo de investigadores de la Universidad de Göttingen, Alemania, para evaluar los atributos estructurales de los árboles que forman una masa forestal (Gadow, 1993; Fuldner, 1995; Gadow et al., 2001; Aguirre et al., 2003, Corral et al. 2006).

Cuadro 1. Formulas utilizadas en la estimación de los índices estructurales considerados para la definición del sistema de monitoreo silvícola y ambiental.

Índice o ecuación	Fórmula	Donde:
Diversidad de especies		
Índice de Shannon	$H_i' = -\sum p_i \ln p_i$	p_i = abundancia proporcional de la i -ésima especie
Índice de mezcla de Gadow	$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$	v_j es una variable binaria discreta que asume el valor de 0 cuando el árbol j es de la misma especie que el árbol de referencia i , y el valor de 1 si es de diferente especie
Índice de diversidad espacial de especies	$TSS = \sum_{sp=1}^n \left[\frac{1}{5Nsp} \sum_{i=1}^{Nsp} M_i \bullet S_i \right]$	n = número de especies, Nsp =número de árboles de la especie sp en la comunidad, M_i = índice de mezcla de especies como se define arriba S_i = es el número de especies en el grupo estructural incluyendo el árbol de referencia i
Distribución espacial		
Índice de uniformidad Gadow W_i	$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$	v_j es una variable binaria discreta que asume el valor de 1 si el j -ésimo ángulo entre dos árboles vecinos es menor o igual al ángulo estándar α , y 0 en caso contrario
Índice de información direccional Corral (R_i)	$R_i = \sqrt{1 + \left(\sum_{j=2}^n \cos(\alpha_{ij}) \right)^2 + \left(\sum_{j=2}^n \sin(\alpha_{ij}) \right)^2}$	α_{ij} = son los ángulos iniciando en el árbol de referencia i y apuntando al j -ésimo vecino en el sentido de las manecillas del reloj.
Diferenciación dimensional		
Índice de diferenciación diamétrica y de altura	$TD_i = \frac{\text{desviación estándar del diámetro}}{\text{diámetro medio}}$ $TH_i = \frac{\text{desviación estándar de la altura}}{\text{altura media}}$	$TD(i)$ y $TH(i)$ = diferenciación diamétrica y en altura de la parcela i
Índice de dominancia	$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$	v_j es una variable binaria discreta que asume el valor de 1 cuando el árbol j es mas grande que el árbol de referencia i , y el valor de 0 en caso contrario

Al momento de realizar la primera remediación, permitirá generar estimaciones confiables del crecimiento (en diámetro, altura y volumen), además del desarrollo de nuevas herramientas silvícolas como modelos de incorporación y de mortalidad natural, de calidad de estación, entre otras posibilidades. Para el caso de la estructura, de los datos de la primera remediación se estimarán de nuevo los valores de los índices y se compararan con los de la línea base (Cuadro1). En esta etapa se espera que algunos de los sitios ya hayan sido sujetos a una intervención silvícola con la finalidad de evaluar el efecto del manejo sobre las variables dasométricas y la estructura espacial del rodal, además en variables del suelo. La comparación entre la primera remediación y la línea base servirá para hacer los ajustes que se consideren necesarios al programa de manejo e iniciar con un proceso de mejora continua en el manejo forestal.

Cada cinco años se realizarán remediciones, cuyos resultados serán incorporados a la planeación forestal mediante la comparación y análisis de los cambios detectados. A continuación se describen algunos ejemplos del funcionamiento del sistema de monitoreo:

Diversidad de especies

Los índices de la mezcla de especies (M_i) y el criterio de diversidad espacial permitirán en mediciones futuras monitorear la abundancia de especies dentro de las unidades de manejo, posibilitando detectar cambios positivos o negativos dentro de los rodales causados por las actividades silvícolas. Por ejemplo, el sitio 12 que parte de una línea base de 0.86 para el caso de la mezcla de especies, es decir en promedio solo uno de cuatro vecinos pertenecen a la misma especie de un árbol de referencia i seleccionada al azar, y si el objetivo de manejo es mantener esta mezcla de especies, en la evaluación del monitoreo se define un rango de cambio absoluto permisible de un 10%. Por lo tanto, si después de un ciclo de corta este valor es menor que 0.76 o mayor que 0.96, es indicativo de que se requiere de la aplicación de acciones correctivas al sistema silvícola encaminadas a mantener la meta propuesta en términos de diversidad y mezcla de especies.

Distribución espacial

Debido a que el patrón de distribución espacial que presentan los árboles dentro de las unidades de manejo, en general, es aleatorio, este índice permitirá en

mediciones futuras monitorear cómo es la tendencia de las especies a distribuirse sobre cada unidad de manejo causada por actividades silvícolas. Si por ejemplo un sitio tiene un valor de W_i de 0.50, esto indica que por el momento tiene una tendencia hacia la aleatoriedad, y si en este caso el objetivo de manejo es transformar de una estructura irregular a una regular, entonces a través de la silvicultura esperaremos que este valor baje a un promedio de 0.25. Por lo tanto, después de cada remediación es posible monitorear los cambios en este componente estructural, los cuales deberán ser orientados siempre a alcanzar los objetivos de manejo particulares a cada unidad mínima de manejo.

Diferenciación dimensional

Los índices de diferenciación diamétrica y en altura permitirán en futuras remediciones monitorear los cambios derivados de la aplicación de tratamientos silvícolas en la estructura horizontal y vertical unidades de manejo. Por ejemplo, la mayoría de los sitios presentan diferencias en diámetro y altura que puede ser caracterizada como media y alta, partiendo de una línea base de 0.50, y si el objetivo de manejo es mantener este tipo de estructura (mixta e irregular), en la ejecución del monitoreo se podría definir un rango de cambio absoluto permisible de un 15%. Por lo tanto, si después de un ciclo de corta este valor es menor que 0.45 o mayor que 0.65, es importante recurrir a la aplicación de acciones correctivas al sistema silvícola encaminadas a mantener la estructura característica del rodal.

Por otra parte, el índice de dominancia U_i permitirá en futuras remediciones monitorear la dominancia de las especies presentes dentro de la comunidad, posibilitando la detección de cambios drásticos en la dominancia. Por ejemplo, si el género *Quercus* que agrupa a especies de menor valor comercial y el cual en esta medición aparece mayormente como suprimido; y si en una segunda o tercera remediación las especies de este género se observan como dominantes, es indicativo de que las especies comerciales han sido sobre aprovechadas y por lo tanto, se requiere de hacer modificaciones importantes a la ejecución del plan de manejo.

Recurso suelo

El sistema de monitoreo forestal y de suelos pretende también monitorear posibles cambios en la fertilidad como consecuencia de las prácticas de manejo forestal practicado. Para el caso de los macro y micronutrientes se tiene planeado

recoger nuevamente una muestra de suelo después de haber transcurrido un ciclo de corta, la cual será enviada al laboratorio para su análisis respectivo. Algunas características del suelo como la profundidad efectiva y el grosor de materia orgánica podrán ser evaluadas cada cinco años; es decir, en cada remediación.

Cuadro 1. Parámetros dasométricos y caracterización estructural de la red de sitios permanentes del Ejido El Brillante Pueblo Nuevo, Dgo.

Información de Control				Indicador/Parametro Dasometrico							Indicador /Parmetro Estructural						
				Caracterización Dasometrica							Distribución Espacial		Diferenciación Dimensional		Diversidad de Especies		
				Verificador/Línea Base							Verificador/Línea Base		Verificador/Línea Base		Verificador/Línea Base		
Cve_Sitio	Fecha	UTME	UTMN	N	G	Dg	Dm	Hm	H0	D0	Ri	Wi	TDi	THi	Ui	Mi	TSS
10023019	dic-08	462791	2632850	368	11,33	19,80	18,25	8,58	10,88	27,71	1,94	0,53	0,62	0,57	0,52	0,67	4,53
10023020	dic-08	459430	2620784	680	35,83	25,90	22,72	13,31	19,48	44,37	1,80	0,49	0,72	0,66	0,53	0,71	8,68
10023021	dic-08	459107	2632850	700	36,05	25,61	23,05	13,38	18,45	43,19	1,64	0,48	0,70	0,58	0,51	0,65	5,18
10023022	dic-08	451964	2617912	788	20,66	18,27	16,53	10,96	15,40	32,29	1,85	0,50	0,67	0,60	0,52	0,52	5,29
10023023	dic-08	453363	2617778	456	24,57	26,19	23,12	13,95	22,76	43,36	1,96	0,55	0,75	0,74	0,51	0,63	6,48
10023024	dic-08	454811	2618021	752	27,69	21,65	19,19	15,21	23,41	38,12	1,74	0,49	0,66	0,56	0,53	0,42	4,32
10023025	dic-08	456564	2617888	1064	17,14	14,32	13,41	8,44	12,06	24,84	1,73	0,48	0,52	0,43	0,49	0,06	1,81
10023026	dic-08	455517	2616495	736	53,28	30,36	24,34	16,44	30,15	60,91	1,69	0,47	0,81	0,73	0,49	0,63	7,47
10023027	dic-08	456317	2615893	372	20,62	26,56	22,48	15,23	26,98	42,23	1,88	0,48	0,75	0,73	0,51	0,42	2,08
10023028	dic-08	457196	2613020	960	21,74	16,98	13,54	10,75	21,86	41,12	2,00	0,53	0,56	0,48	0,47	0,21	3,68
10023077	jun-08	455490	2616719	564	58,43	36,32	28,97	17,36	32,34	67,16	1,91	0,51	0,85	0,76	0,51	0,57	5,28
10023078	may-08	455825	2616682	644	52,62	32,15	25,09	14,83	27,45	64,58	1,84	0,51	0,89	0,78	0,54	0,63	4,62
10023079	nov-08	455918	2616424	660	35,65	26,22	20,10	11,91	26,78	52,62	1,89	0,49	0,82	0,80	0,49	0,73	6,96
10023169	mar-10	457280	2613691	1216	13,31	11,80	11,49	7,25	8,66	17,54	1,44	0,46	0,38	0,23	0,48	0,01	1,00
10023170	mar-10	457710	2618136	996	16,59	14,56	13,35	9,14	13,72	27,10	1,71	0,49	0,51	0,35	0,48	0,10	1,79

Número de árboles por hectárea (N), área basal por hectárea (G), diámetro medio cuadrático (Dg), diámetro medio (dm), altura media, (Hm), Altura dominante (H₀) y Diámetro dominante (D₀), Índice de información direccional (Ri) índice de uniformidad (Wi) índice de diferenciación en Diámetro (TDi), índice de diferenciación en altura (Thi), el índice de dominancia (Ui), el índice de mezcla de especies (Mi) y el índice de diversidad espacial de especies (TSS).

