



EJIDO FORESTAL EL BRILLANTE
UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO
INSTITUTO DE SILVICULTURA E INDUSTRIA DE LA MADERA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Primera Evaluación del Sistema de Monitoreo Silvícola y Ambiental del ejido El Brillante,
Municipio de Pueblo Nuevo, Durango

Por:

Dr. José Javier Corral Rivas

Ing. María Guadalupe Nava Miranda

Dr. Javier Bretado Velazquez

Ing. Hilda Lorena Ávila Márquez

Ing. Veronica Wiering

Durango, Dgo., a 24 de agosto de 2015

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
Definición del sistema de indicadores y verificadores	3
b) Distribución espacial	9
c) Diferenciación dimensional.....	11
Análisis estadístico.....	12
RESULTADOS	13
Estimación y evaluación de los verificadores	16
CONCLUSIONES	17
RECOMENDACIONES.....	18
BIBLIOGRAFÍA.....	18

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Expresiones matemáticas de los índices utilizados en la evaluación de cambios en deforestación, degradación y biodiversidad.....	7
Cuadro 2. Lista de los verificadores utilizados para evaluar tasas de cambio en los indicadores de deforestación (a), degradación (b) y biodiversidad (c).....	12
Cuadro 3. Resultados dasométricos y de las capas de materia orgánica y de ocochal de los Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de suelos del ejido El Brillante	14
Cuadro 4. Resultados estructurales de los Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de suelos del ejido El Brillante	15
Cuadro 5. Comparación de los inventarios 2008 y 2013.	17

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los sitios en el contexto predial.	2
Figura 2. Representación gráfica de un grupo estructural de cinco árboles utilizado como método de muestreo para la estimación de los índices estructurales que representan los verificadores de la estructura forestal.....	6
Figura 3. Representación esquemática del índice de mezcla de especies de Gadow utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio.....	9
Figura 4. Representación esquemática del índice de Gadow utilizando utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio.	10



I. INTRODUCCIÓN

Los bosques representan un depósito clave de la diversidad biológica ya que debido a su complejidad estructural proveen hábitat a muchas especies de plantas y animales. Sin embargo, las especies, son en muchos casos dependientes de la calidad ambiental de los mismos, la cual ha sido reducida considerablemente durante las últimas décadas como consecuencia del aprovechamiento y manejo inadecuado de sus recursos.

Hasta el momento, la información derivada de sitios permanentes (aquellos medidos por lo menos tres veces sucesivas) representa la base más importante para obtener resultados sobre el crecimiento, producción y evolución de las masas forestales (Corral-Rivas *et al.*, 2009; Gadow *et al.* 2012). Un programa de monitoreo a través del establecimiento de sitios permanentes permite a los manejadores e investigadores forestales observar diversas variables silvícolas, económicas, ecológicas, sociales y culturales relevantes, y coleccionar evidencia objetiva en términos de información base. Esta información es sumamente importante para conocer el grado de cumplimiento de 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 los programas de manejo de bosques en producción así como en aquellos dedicados a la conservación. Asimismo, son primordiales para medir tasas de cambio en términos de deforestación, de degradación y de diversidad estructural. Los impactos negativos que interesa conocer son aquellos resultantes del manejo silvícola, por lo que puedan reducirse o eliminarse de ser necesario mediante modificaciones al plan de manejo, de manera que se logren prácticas de manejo forestal sostenibles.

El ejido El Brillante cuenta desde el año 2008 con un sistema de monitoreo de 14 Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos. En este estudio se muestran los resultados de dos inventarios de medir tasas de cambio en deforestación, degradación y biodiversidad. En intervalo de tiempo entre los dos inventarios fue de 5 años.

Para la instalación y remediación de los sitios se siguieron las metodologías desarrolladas por Corral-Rivas *et al.* (2009) y Corral-Rivas *et al.* (2012). Los sitios son de forma cuadrada de 50x50 metros cubriendo una

superficie de 2,500 m². Para cada sitio se cuenta con información ecológica, fisiográfica, silvícola y dasométrica y del recurso suelo de los dos inventarios. De cada árbol se registraron entre otras, las siguientes variables: número de individuo, especie, dominancia, diámetro normal, altura total, altura de fuste limpio, distancia del árbol al centro del sitio, azimut del árbol con respecto al centro del sitio, sanidad, calificación de sanidad y dos diámetros de copa. La ubicación de los sitios se realizó a nivel de predio, a través de muestreo sistemático (con algunas excepciones para representar condiciones específicas), sobreponiendo una malla de puntos equidistantes de distancia de cinco kilómetros. Se intentó contar con un número suficiente de los sitios considerados en este estudio con la finalidad de cubrir adecuadamente las posibles combinaciones de calidad de estación y de densidad para las diferentes especies de interés comercial. La Figura 1 muestra la ubicación de los sitios en el contexto del predio y corresponde con una vista gráfica del Sistema de Información Geográfica desarrollado para el predio como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

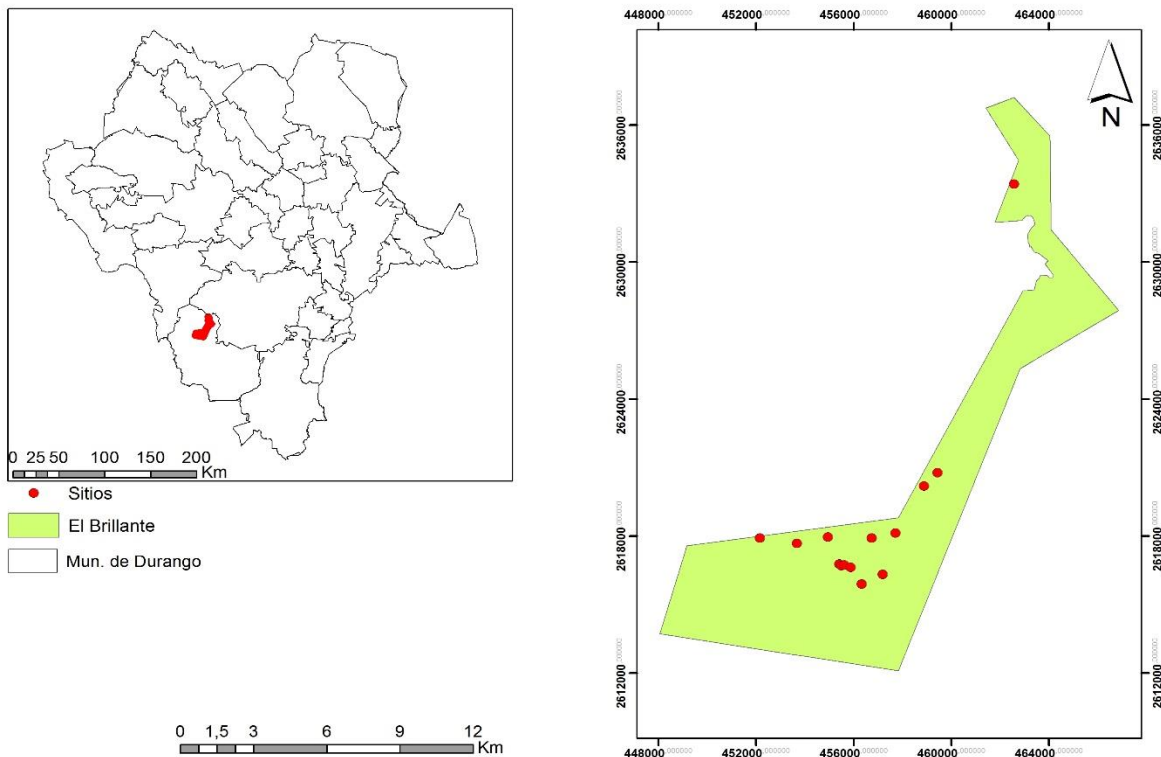


Figura 1. Ubicación de los sitios en el contexto predial.



Definición del sistema de indicadores y verificadores

La efectividad del monitoreo de ecosistemas forestales tiene significado solo si proporciona información acerca de las relaciones que se dan entre las actividades de manejo y la respuesta de los ecosistemas (Noon *et al.*, 1999). Por tanto, un esquema de monitoreo debe estar acompañado por un modelo conceptual basado en una serie de verificadores que respondan ecológicamente al efecto que tienen las actividades de manejo sobre indicadores o atributos de las áreas forestales. Para lograr lo anterior se requiere describir la condición actual de los ecosistemas forestales en un momento determinado (línea base) y contar con herramientas (criterios, indicadores y verificadores) para evaluar futuras condiciones en función de diferentes escenarios (p.ej., predios certificados y no certificados) o diferentes regímenes de manejo (p.ej., áreas en producción, y áreas en receso de aprovechamiento).

El término “*indicador*” es ampliamente utilizado para medir o comparar los resultados obtenidos, en la ejecución de un proyecto, programa o actividad. Se mide en porcentajes, tasas y razones para permitir comparaciones entre variables. McKenney *et al.* (1994) define como indicadores aquellas variables que seleccionamos para ser monitoreadas en el tiempo. Los indicadores nos permiten conocer el estado actual y la evolución de los ecosistemas forestales, y la forma en que evoluciona a medida que se van introduciendo las medidas previstas bien en los planes de manejo a nivel local, o en medidas desarrolladas a nivel regional.

En materia ambiental, los indicadores deben cumplir una serie de características básicas que garanticen el cumplimiento de los objetivos con los que se plantea el sistema de indicadores. Los indicadores deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Validez científica: los indicadores deben basarse en el conocimiento científico, con un significado claro e inequívoco.
- Disponibilidad y fiabilidad de los datos: los datos necesarios para el cálculo de los indicadores deben ser accesibles y fiables.
- Representatividad: los indicadores deben describir adecuadamente los aspectos a los que se refieren.



- Sensibilidad a cambios: el indicador debe responder a los cambios que se producen en el medio, reflejando las tendencias y posibilitando la predicción de situaciones futuras.
- Sencillez: los indicadores deben ser claros, simples y específicos, facilitando su comprensión por no especialistas que vayan a hacer uso de los mismos.
- Relevancia y utilidad: los indicadores no sólo tienen que ser relevantes a nivel científico, sino también a nivel técnico y político, ya que deben ser útiles en la toma de decisiones.
- Comparabilidad: la información que aporten los indicadores debe permitir la comparación a distintas escalas territoriales y temporales.
- Viabilidad económica: el costo de obtención de información debe estar compensado con la utilidad de la información obtenida.

Por otro lado, los verificadores son parámetros que miden el cambio en un sistema ecológico o ambiental (McKenney *et al.*, 1994; Noon *et al.*, 1999). En un sistema de monitoreo cada verificador debe estar asociado a uno o más indicadores y ser capaz de medir la tasa de cambio a través de unidades de medida cuantificables.

En este trabajo la definición de verificadores para evaluar tasas de cambio en las variables de deforestación, degradación y biodiversidad en bosques bajo diferentes regímenes de manejo, se consideró importante compaginar el rigor científico con la sencillez en su enunciación, dado que los receptores no serán necesariamente expertos en manejo y conservación de ecosistemas forestales. Por tanto se buscó encontrar un equilibrio entre la información silvícola y ambiental seleccionada para ser evaluada y la fácil comprensión de dicha información (entre indicadores y verificadores).

En este estudio las tres variables deforestación, degradación y biodiversidad representan los indicadores, los cuales fueron caracterizados física y biológicamente a través de la información colectada de sitios de investigación forestal y de suelos durante dos inventarios.

Para evaluar los cambios en la deforestación definida en este estudio como *“una disminución excesiva de la cubierta forestal entre el 2008 y 2013 (sobre aprovechamiento de árboles como consecuencia de exceder ciertos límites permisibles para diferentes prácticas silvícolas, o por la presencia de incendios*



forestales y otros problemas de sanidad forestal)", se proponen los siguientes verificadores para cada uno de los regímenes de manejo seleccionados: 1) cambios en la densidad de los sitios, expresada en términos de número de árboles por hectárea o en área basal (m^2/ha), 2) pérdida de sitios debido a la presencia de incendios forestales, expresado en hectáreas, y 3) pérdida de sitios debido a cambio de uso del suelo, expresado en hectáreas.

La degradación definida aquí como "la disminución de la calidad del estado actual de las áreas forestales observada entre los dos periodos de evaluación, respecto a uno o a más elementos del ecosistema forestal (estrato vegetal residual, características del suelo, etc.)", será evaluada utilizando como verificadores: 4) una reducción excesiva en el área basal de los sitios, expresada en porcentaje, 5) una reducción en la altura máxima de los sitios (H_{max}), expresada en m, 6) una reducción en la profundidad efectiva del suelo de los sitios, expresada en centímetros, y 7) una reducción de la capa de materia orgánica de los sitios, expresada en porcentaje.

Por otra parte, debido a que la diversidad estructural de los bosques está directamente relacionada con el hábitat de muchas especies de animales y vegetales, en este estudio es utilizada como indicador de biodiversidad. La evaluación de este indicador se realizó con una serie de índices que actúan como verificadores de la estructura espacial de los bosques: la diversidad y la mezcla de especies, que determinan a su vez factores micro-ambientales como 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 y abióticos; el tipo de distribución espacial, el cual se sabe está estrechamente relacionado con el régimen de luz, suelo, agua, diversidad genética y de especies, y el patrón de regeneración presente dentro del rodal (Emborg, 1998), y que tiene efectos significativos en el crecimiento y producción de madera (Pretzsch, 1995; Kint *et al.*, 2003); y la diferenciación dimensional vertical y horizontal, que determina la variación espacial de las condiciones micro-climáticas, disponibilidad de nutrientes y la complejidad estructural, que a su vez afectan directa e indirectamente la presencia de diferentes animales y plantas (Spies, 1998; Brokaw y Lent, 1999). Los cambios en la diversidad y mezcla de especies fueron expresados por los siguientes verificadores: 8.1) el número de especies (S) o propiamente dicho la riqueza de especies, 8.2) el índice de Shannon (H') Shannon (1949), y 8.3) el índice de Mezcla de especies (Mi)

(Fülde, 1995). Los cambios en la distribución o arreglo espacial del arbolado serán evaluados por 9) el índice de uniformidad W_i de Gadow (Gadow *et al.*, 1999). Las modificaciones en la estructura vertical y horizontal se expresarán mediante los índices 10.1) diferenciación diamétrica (TDi), y 10.2) de altura (THi) (Hui y Gadow, 2002).

Las expresiones matemáticas de los verificadores que así lo requieren se muestran en el Cuadro 1. La base para la determinación de los tres últimos índices relacionados con la estructura forestal la constituyó el método de muestreo conocido como “*grupo estructural de los cinco árboles*”. Este sistema de muestreo fue desarrollado por un grupo de investigadores en la Universidad de Göttingen, Alemania, para evaluar y monitorear los atributos estructurales de masas forestales (Fülde, 1995; Gadow *et al.* 2001; Aguirre *et al.* 2003; Corral-Rivas, 2006). La figura 2, ilustra un grupo estructural de cinco árboles, cuyas relaciones de vecindad son las que definen los valores de los índices estructurales utilizados como verificadores para evaluar tasas de cambio en la diversidad estructural.

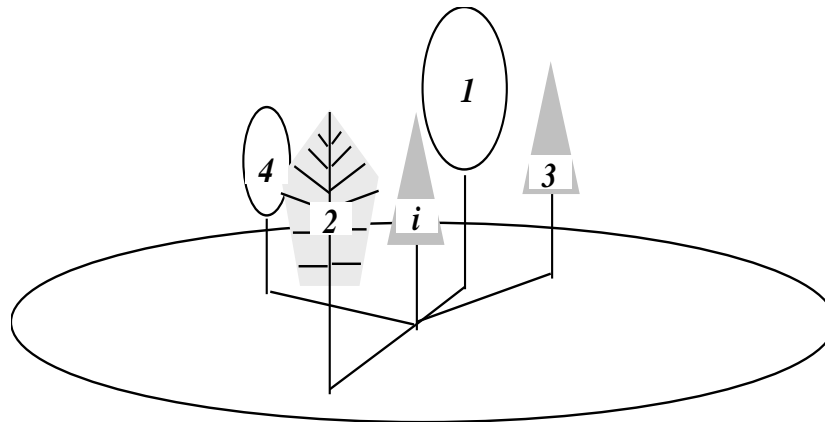


Figura 2. Representación gráfica de un grupo estructural de cinco árboles utilizado como método de muestreo para la estimación de los índices estructurales que representan los verificadores de la estructura forestal.

El cálculo de los índices de estructura (8.1-10.2) utilizados en este trabajo siempre estará sesgado en aquellos árboles cercanos a los bordes de los sitios, al menos que un esquema de corrección por efectos de borde sea aplicado en la estimación de los mismos. La razón es que estos árboles son problemáticos porque sus vecinos potenciales pueden estar localizados fuera del área de interés. Para eliminar el efecto



de borde y obtener estimaciones insesgadas de las variables estructurales, el método de corrección de borde del n vecino más cercano propuesto por Pommerening y Stoyan (2006) fue implementado en todas las rutinas de SAS usadas en las calculaciones. Esta técnica de corrección de borde permite obtener estimaciones insesgadas para los valores medios de todos los índices, así como también las verdaderas distribuciones de sus valores.

Cuadro 1. Expresiones matemáticas de los índices utilizados en la evaluación de cambios en deforestación, degradación y biodiversidad.

Índice o ecuación	Fórmula	Dónde:
Variables de rodal		
Número de árboles por hectárea	$N = \frac{10000 * n}{S}$	N es la densidad en árboles por hectárea, S es la superficie en proyección horizontal (m ²), y n es el número de árboles del sitio, respectivamente.
Área basal por hectárea	$G = \frac{\pi}{4} \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2 \cdot \frac{10000}{S}$	G es el área basal (m ² /ha), d_i el diámetro normal, en m ² de cada árbol, y S es la superficie en proyección horizontal del sitio(m ²)
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
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 ∞ , y 0 en caso contrario
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

El principio se basa en el concepto de “minus sampling” por su término en Ingles (reducción del número de árboles de referencia) y evalúa si todos los n vecinos más cercanos a un árbol de referencia i , se encuentran verdaderamente localizados dentro de un sitio de observación y elimina aquellos individuos que se encuentran muy cerca a alguno de los bordes de algún sitio de investigación. Debido a que los cuatro vecinos más cercanos a un árbol de referencia i , normalmente se enumeran en orden ascendente de acuerdo a la distancia, en este estudio todos los árboles de referencia cuya distancia medida al cuarto árbol era más grande que la distancia al borde más cercano fueron ignorados.

a) Diversidad y mezcla de especies

La diversidad de especies es un aspecto importante que debe ser considerado dentro del concepto de diversidad estructural y manejo sostenible de bosques. Su monitoreo en las escalas espacial y temporal permite detectar cambios en indicadores clave de manejo forestal sostenible.

➤ Índice de Shannon

El índice de Shannon (1949) aumenta con el número de especies y toma mayores valores cuando las proporciones de las distintas especies son similares. De acuerdo con Gadow y Hui (2002), el índice de Shannon es una de las variables más empleadas para la estimación de la diversidad de especies y refleja de buena manera la diversidad de poblaciones florísticamente ricas.

➤ Índice de Mezcla de especies de Gadow

La estimación del índice de mezcla de especies de Gadow M_i (Fülder, 1995) evalúa la diversidad de especies de la vecindad de un árbol de referencia i y se define como la proporción de los n vecinos que no pertenecen a la misma especie del árbol de referencia. El valor de este índice puede variar entre 0 y 1 (Figura 3).

Sin Mezcla	Poca mezcla	Mezcla moderada	Mezcla alta	Mezcla muy alta
$M_i = 0$	$M_i = 0.25$	$M_i = 0.50$	$M_i = 0.75$	$M_i = 1$
Los cuatro vecinos pertenecen a la misma especie del árbol de referencia	Tres de los cuatro vecinos pertenecen a la misma especie del árbol de referencia	Dos de los cuatro vecinos pertenecen a la misma especie del árbol de referencia	Uno de los cuatro vecinos pertenecen a la misma especie del árbol de referencia	Ninguno de los cuatro vecinos pertenecen a la misma especie del árbol de referencia

- Árbol de referencia
- Vecinos que no pertenecen a la misma especie del árbol de referencia
- Vecinos que pertenecen a la misma especie del árbol de referencia

Figura 3. Representación esquemática del índice de mezcla de especies de Gadow utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio.

En el caso de usar cuatro vecinos el valor de M_i puede asumir cinco valores diferentes (0.0, 0.25, 0.50, 0.75 y 1). Valores cercanos a cero indican que las especies tienden a agruparse y no se mezclan entre ellas; por el contrario, valores cercanos a uno indican una preferencia a mezclarse.

b) Distribución espacial

Diversos métodos han sido propuestos para la caracterización de la distribución espacial de los árboles dentro de los rodales (Clark y Evans, 1954; Ripley, 1977; Gadow *et al.*, 1999;). Para evaluar la distribución

espacial de los individuos en sitios permanentes, en este trabajo se empleó el índice de uniformidad de Gadow, ya que es de sencillo cálculo y ha probado ser eficiente para la descripción de este componente estructural.

➤ **Índice de uniformidad de Gadow**

La determinación del índice de uniformidad W_i de Gadow (Gadow *et al.*, 1999), se basó en la medición de los ángulos entre dos vecinos al árbol de referencia i y su comparación con un ángulo estándar α , de tal manera que considerando cuatro vecinos al árbol de referencia W_i puede tomar valores de 0 hasta 1, donde un valor cercano a cero representa condiciones de regularidad, valores cercanos al 0.50 muestran tendencia a la aleatoriedad y aquellos próximos a uno presentan condiciones de agrupamiento (ver Figura 4).

Muy regular	Regular	Aleatorio	Irregular	Muy irregular
$W_i = 0.00$	$W_i = 0.25$	$W_i = 0.50$	$W_i = 0.75$	$W_i = 1.00$
Ninguno de los ángulos α_j es menor que α_0	Uno de los ángulos α_j es menor que α_0	Dos de los ángulos α_j es menor que α_0	Tres de los ángulos α_j es menor que α_0	Los cuatro ángulos α_j son menores que α_0

● Árbol de referencia ○ ○ ○ ○ vecinos más cercanos

Figura 4. Representación esquemática del índice de Gadow utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio.

En este trabajo se utilizó un ángulo estándar de 72° para la estimación de este índice, debido a que en las simulaciones de Hui y Gadow (2002), se encontró a este valor como el ángulo estándar óptimo produciendo un promedio de $W=0.5$ para una distribución aleatoria de los árboles dentro de los sitios que se simularon.



c) Diferenciación dimensional

La última de las principales características que definen la estructura de un rodal analizadas en este trabajo es la variación existente entre los tamaños de los árboles que lo constituyen. Para evaluar este componente estructural se utilizaron los Índices de diferenciación diamétrica (TD_i) y de altura (TH_i). Estos índices han probado ser útiles para describir la estructura horizontal y vertical de los ecosistemas forestales.

➤ Índices de diferenciación diamétrica (TD_i) y de altura (TH_i)

Los índices de diferenciación diamétrica (TD_i) y de altura (TH_i) (Hui y Gadow, 2002), serán obtenidos al igual que otros índices de las relaciones de vecindad entre los árboles de los sitios.

Para hacer compatibles estas variables con el resto de los índices estructurales, se integraron cinco grupos de diferenciación dimensional de acuerdo con Hui y Gadow (2002) utilizando el valor del coeficiente de variación: *escasa* $T_i = 0.00$: $CV = 0.05$; *moderada* $T_i = 0.25$: $0.05 < CV < 0.15$; *media* $T_i = 0.50$: $0.15 < CV < 0.30$; *Alta* $T_i = 0.75$: $0.30 < CV < 0.60$; *muy alta* $T_i = 1.0$: $0.60 < CV$.

El cuadro 2 agrupa los verificadores propuestos para evaluar tasas de cambio en los variables de deforestación, degradación y biodiversidad, consideradas como indicadores clave de áreas forestales sujetas a manejo forestal en este predio certificado. Los indicadores han sido definidos por las letras (a), (b), y (c) para referirnos a la deforestación, degradación y biodiversidad, respetivamente, mientras que los verificadores se han definidos con los números 1-10.2.



Cuadro 2. Lista de los verificadores utilizados para evaluar tasas de cambio en los indicadores de deforestación (a), degradación (b) y biodiversidad (c).

Indicador	Verificador
Deforestación (a), degradación (b)	1) cambios en la densidad de los sitios, expresada en términos de número de árboles por hectárea (N)
Deforestación (a), Degradación (b)	2) pérdida de sitios debido a la presencia de incendios forestales, expresado en hectáreas
Deforestación (a)	3) pérdida de sitios debido a cambio de uso del suelo, expresado en hectáreas
Degradación (b), Deforestación (a)	4) reducción en el área basal de los sitios (G), expresada en m ² /ha
Degradación (b)	5) reducción en el la altura máxima de los sitios (<i>Hmax</i>), expresada en m
Degradación (b)	6) reducción de la capa de materia orgánica de los sitios, expresada en centímetros
Degradación (b)	7) reducción de la capa de ocochal de los sitios, expresada en centímetros
Diversidad y mezcla de especies (c) (biodiversidad)	8) cambios en la diversidad y mezcla de especies, expresados por: 8.1) el número de especies (S) o propiamente dicho la riqueza de especies, 8.2), el índice de Shannon (H'), y 8.3) el índice de Mezcla de especies (Mi).
Distribución espacial (c) (biodiversidad)	9) cambios en la distribución o arreglo espacial del arbolado, expresados por el del índice de uniformidad <i>Wi</i> de Gadow
Diversidad dimensional (c) (biodiversidad)	10) cambios en la diferenciación dimensional vertical y horizontal de los rodales, expresados por: 10.1) el índice de diferenciación diamétrica (TDi), y 10.2) el índice de diferenciación en altura (THi)

En el cuadro 2 se observa que en este esquema de monitoreo un mismo verificador puede actuar como verificador de uno o más indicadores ya que posee la propiedad de medir diferentes tasas de cambio a través su unidad de medida.

Análisis estadístico

Una vez calculados los valores de los 13 verificadores (1-10.2) propuestos en este estudio para evaluar la tasas de cambio en los tres indicadores (deforestación, degradación y diversidad estructural), éstos se sometieron a un análisis estadístico para buscar evidencia científica que permita responder la hipótesis planteada de que las tasas de cambio en la deforestación, la degradación, y la biodiversidad no representan una disminución significativa. Así, en este estudio se hicieron comparaciones pareadas de las variables estimadas a partir de los datos de los dos inventarios (verificadores). Las diferencias entre las



variables respuesta (verificadores) se evaluaron mediante la prueba de t de Student. Las diferencias fueron consideradas significativas cuando se obtuvo un valor de $p < 0.05$.

RESULTADOS

El primer hallazgo de la remediación fue la pérdida de uno de los catorce sitios originalmente establecidos debido a la presencia de incendios forestales. Lo anterior se traduce en una afectación del 14% en las variables degradación y deforestación casada por este fenómeno y que afectó a los verificadores 1 (Número de árboles por ha (N)), 2 (pérdida de sitios debido a la presencia de incendios forestales) y 4 (reducción en el área basal de los sitios (G)).

El cuadro 3 muestra un comparativo de la estimación de los principales estadísticos descriptivos para las principales variables dasométricas y de capas de materia orgánica y de ocochal de los catorce Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos que fue posible remedir en el ejido El Brillante. En el cuadro 3 se muestran las principales variables dasométricas número de especies por sitio (S), número de árboles por hectárea (N), área basal por hectárea (G), altura dominante (H0), diámetro medio (Dm), altura media (Hm), además de la capa de Materia Orgánica (Mo) y de Ocochal (Oc). Por su parte el cuadro 4 muestra el comparativo de los principales índices estructurales, Índice de Mezcla de Gadown (Mi), Índice de Shannon (H), Índice de uniformidad de Gadown (Wi), Índice de diferenciación en altura (THi), Índice de diferenciación diamétrica (TDi).

En el cuadro 5 se observa que el incremento corriente anual de los sitios en m^3 por hectárea al año para el predio varía de 1.03 a 8.9 con un promedio de 3.385. Este promedio de crecimiento claramente está por arriba de la cosecha anual propuesta para el predio ($1.5 m^3$ por hectárea al año durante el presente ciclo de corta).



Cuadro 3. Resultados dasométricos y de las capas de materia orgánica y de ocochal de los Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos del ejido El Brillante.

CVE_SITIO	CEste	CNorte	S1	S2	N1	N2	G1	G2	H01	H02	Dm1	Dm2	Hm1	Hm2	Mo1	Mo2	Oc1	Oc2
10023019	462791	2632850	10	10	348	388	10,36	12,20	10,57	11,82	18,05	18,48	8,26	8,89	3,00	1,50	1,00	2,00
10023020	459430	2620784	10	11	596	636	24,87	29,57	19,34	20,27	21,03	22,17	11,57	12,40	2,00	2,00	1,00	1,50
10023021	459107	2632850	9	9	672	692	33,56	38,56	17,87	18,63	22,76	24,04	12,61	13,38	5,00	2,50	3,00	3,00
10023022	451964	2617912	8	8	760	792	19,38	23,12	15,05	16,44	16,32	17,53	9,93	10,79	6,00	4,00	2,00	5,00
10023023	453363	2617778	8	8	424	464	23,72	28,43	22,49	23,73	23,52	24,55	13,31	13,65	6,00	4,00	3,00	5,00
10023024	454811	2618021	5	6	728	832	27,09	36,76	22,59	24,19	19,12	20,68	14,46	15,14	5,00	4,50	5,00	5,00
10023025	456564	2617888	4	4	968	1064	16,52	26,49	12,14	14,47	13,49	16,49	8,60	10,77	5,00	5,00	2,00	6,00
10023026	455517	2616495	8	8	684	708	45,45	50,46	29,49	30,55	23,51	24,47	15,43	16,48	5,00	4,00	2,00	1,50
10023027	456317	2615893	6	8	336	628	16,81	23,53	25,23	26,39	21,35	17,69	13,74	11,99	5,00	3,00	1,00	4,00
10023028	457196	2613020	4	4	596	872	8,49	17,21	21,50	15,10	11,84	14,46	9,23	10,19	15,00	4,00	10,00	3,00
10023077	455490	2616719	8	8	524	524	55,21	60,19	31,55	32,29	29,28	30,84	16,87	18,25	5,00	2,00	3,00	1,00
10023078	455825	2616682	9	9	656	708	53,39	58,52	28,05	30,07	25,31	25,67	15,70	16,49	1,00	1,50		1,00
10023079	455918	2616424	9	9	640	652	32,83	37,40	25,93	27,17	19,68	21,30	11,26	12,38	2,00	3,00	2,00	2,50
10023170	457709	2618137	4	4	996	1176	16,46	26,95	13,83	15,74	13,33	15,23	9,23	11,12	5,00	4,00	5,00	3,50



Cuadro 4. Resultados estructurales de los Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos del ejido El Brillante.

CVE_SITIO	CEste	CNorte	S1	S2	Hmax1	Hmax2	Mi1	Mi2	H1	H2	Wi1	Wi2	TDi1	TDi2	THi1	THi2	Ui1	Ui2
10023019	462791	2632850	10	10	15,63	16,60	0,68	0,66	1,76256	1,76256	0,51	0,52	0,62	0,65	0,56	0,54	0,53	0,54
10023020	459430	2620784	10	11	27,40	27,90	0,67	0,70	1,56114	1,56114	0,50	0,51	0,71	0,71	0,64	0,66	0,50	0,51
10023021	459107	2632850	9	9	21,90	22,00	0,69	0,68	1,55548	1,55548	0,48	0,48	0,69	0,69	0,54	0,60	0,51	0,54
10023022	451964	2617912	8	8	21,60	21,80	0,53	0,56	1,25418	1,25418	0,48	0,49	0,67	0,66	0,62	0,61	0,52	0,51
10023023	453363	2617778	8	8	30,30	30,50	0,67	0,72	1,40021	1,40021	0,49	0,49	0,79	0,78	0,76	0,76	0,45	0,53
10023024	454811	2618021	5	6	26,28	28,10	0,44	0,46	1,07318	1,07318	0,50	0,51	0,68	0,70	0,62	0,61	0,54	0,53
10023025	456564	2617888	4	4	19,10	19,80	0,07	0,07	0,22656	0,22656	0,49	0,50	0,55	0,57	0,48	0,45	0,51	0,52
10023026	455517	2616495	8	8	38,88	40,60	0,61	0,60	1,33802	1,33802	0,49	0,50	0,83	0,82	0,75	0,72	0,50	0,51
10023027	456317	2615893	6	8	32,12	34,40	0,59	0,52	1,36394	1,36394	0,49	0,48	0,78	0,68	0,71	0,67	0,51	0,50
10023028	457196	2613020	4	4	22,80	23,60	0,25	0,22	0,64755	0,64755	0,52	0,50	0,54	0,55	0,39	0,39	0,49	0,50
10023077	455490	2616719	8	8	46,20	49,40	0,59	0,59	1,36229	1,36229	0,53	0,53	0,85	0,84	0,69	0,74	0,51	0,51
10023078	455825	2616682	9	9	38,00	39,40	0,57	0,53	1,29347	1,29347	0,52	0,52	0,90	0,89	0,78	0,76	0,51	0,53
10023079	455918	2616424	9	9	30,93	32,40	0,71	0,71	1,83832	1,83832	0,50	0,51	0,80	0,80	0,77	0,79	0,51	0,53
10023170	457709	2618137	4	4	18,00	19,60	0,12	0,11	0,24311	0,2683	0,48	0,45	0,49	0,52	0,34	0,33	0,48	0,51



Estimación y evaluación de los verificadores

Para evaluar tasas de cambio en los indicadores de deforestación, degradación y biodiversidad en los bosques del ejido El Brillante. El cuadro 5 muestra la estimación de los valores medios de los sitios para los verificadores previamente definidos en el cuadro 2, se presentan los estadísticos de los verificadores estimados en ambos inventarios y la tasa de cambio en porcentaje observada durante los cinco años que comprendió el periodo de evaluación. Los valores positivos indican un incremento en el verificador (impacto positivo del manejo), mientras que los negativos un disminución (impacto negativo del manejo). En este cuadro se observa que el cambio en la densidad de los sitios, expresada en términos de número de árboles por hectárea (N) fue positivo y de un 2.85% (verificador 1). El área basal por hectárea (G), en 12.75% (verificador 4). La altura máxima observada para los sitios (Hmax), mostró un aumento del 3.07% (verificador 5). Las capas de materia orgánica y de ocochal de los sitios mostraron tasas de cambio con valores negativos del 48.94% y 14.63%, respectivamente (verificadores 6 y 7).

Respecto a la estructura forestal de los sitios los verificadores arrojaron los siguientes resultados. La riqueza de especies (S) se mantuvo con el mismo promedio (9) (verificador 8.1), el índice de Shannon mostró un cambio de 0.36% (verificador 8.2), el valor medio de la mezcla de especies disminuyó en negativo de 1.05% (verificador 8.3). El índice de uniformidad (W_i) mostró un cambio positivo (0.79%) indicando un mayor grado de formación de grupos en la distribución espacial de arbolado (verificador 9). Los promedios obtenidos para TD_i y TH_i (verificadores, 10.1, y 10.2) mostraron tasas de cambio positivo de 0.57% y negativo de 1.40%, respectivamente.



Cuadro 5. Comparación de los inventarios 2008 y 2013.

Inventario	N° total de sitios	Parámetro dasométrico	<i>N</i> (a/b)	<i>G</i> (a/b)	<i>H</i> max (b)	<i>Mo</i> (b)	<i>Oc</i> (b)	<i>S</i> (c)	<i>H</i> (c)	<i>Mi</i> (c)	<i>Wi</i> (c)	<i>TDi</i> (c)	<i>Thi</i> (c)	ICA
			(N/ha)	(m ² /ha)	(m)	(cm)	(cm)							
2008	14	Máximo	996	55,21	46,20	15,00	10,00	10	1,84	0,71	0,53	0,90	0,78	-
		Mínimo	336	8,49	15,63	1,00	1,00	4	0,23	0,07	0,48	0,49	0,34	-
		Media	638	27,44	27,80	5,00	3,08	7	1,21	0,51	0,50	0,71	0,62	-
		STD	196	15,00	8,86	3,28	2,47	2	0,50	0,21	0,02	0,13	0,14	-
2013	14	Máximo	1176	60,19	49,40	5,00	6,00	11	1,84	0,72	0,53	0,89	0,79	24,59
		Mínimo	388	12,20	16,60	1,50	1,00	4	0,23	0,07	0,45	0,52	0,33	3,09
		Media	724	33,53	29,01	3,21	3,14	8	1,21	0,51	0,50	0,71	0,62	15,49
		STD	215	14,51	9,45	1,16	1,66	2	0,50	0,22	0,02	0,11	0,14	5,92
Tasa de cambio estimada para el valor medio del verificador (en porcentaje)			13,53	22,19	4,36	-35,71	2,14	3,92	0,15	-0,60	-0,13	-0,23	-0,46	

Los resultados de la prueba de *t* de Student indicaron que no existen diferencias significativas entre ambos inventarios en los valores medios estimados para la mayoría de los verificadores evaluados ($p > 0.05$), con excepción del grosor de las capas de materia orgánica y de ochal, donde la diferencias observada si fue significativa ($p < 0.05$), sin embargo se atribuye a errores de medición durante el inventario 1.

CONCLUSIONES

1. El incremento corriente anual del predio en m³ por hectárea al año, estimado a través de la remediación de los sitios es de 15,49 m³/ha/año. Este crecimiento se encuentra muy por encima de la cosecha anual por hectárea que es del orden de 3 m³/ha/año.
2. Los valores medios estimados para los verificadores número de árboles por hectárea (*N*) (638 y 724, árboles para el inventario 1 y 2, respectivamente), y área basal por hectárea (*G*) (27,44 y 33,53, m² para el inventario 1 y 2, respectivamente). Estos datos indican cambios positivos en ambas variables de rodal, los cuales se traducen en un incremento de la densidad residual.



3. Las estimaciones medias de los verificadores utilizados para evaluar cambios en la diversidad estructural indican que los bosques del predio presentan una diversidad y mezcla de especies moderadamente alta. La distribución espacial del estrato arbóreo estimada mediante el índice de uniformidad de Gadow (W_i) indica que la distribución espacial del estrato arbóreo del predio presenta un patrón de agregados en la mayoría de los sitios. Los índices de diferenciación dimensional en diámetro (TDi) y en altura (THi), sugieren la dominancia de estructuras horizontales y verticales con un alto grado de variación, indicando la existencia de buenas condiciones micro-climáticas, de disponibilidad de recursos y de hábitat que directa o indirectamente favorecen la diversidad biológica de los rodales estudiados mediante la ejecución este trabajo.

RECOMENDACIONES

1. Realizar futuras remediciones de los sitios, ya que posibilitarán generar información técnica necesaria sobre el efecto del manejo forestal la deforestación, la degradación, y la biodiversidad. Si la recolección de datos se logra realizar durante largos periodos de tiempo, éstos pueden ser útiles para el estudio de algunos aspectos del cambio climático y de otras condiciones ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, C.O.A., HUI G., GADOW K., JIMÉNEZ J. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *ELSEVIER. Forest Ecology and Management* 183: 137-145.
- BROKAW, N.V.L., LENT R.A. 1999. Vertical structure in Maintaining biodiversity in forest ecosystems. Editorial Hunter, M.L., Jr. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. p, 373–399.
- CANHAM, C.D., FINZI A.C., PACALA S.W., BURBANK D.H. 1994. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: Interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Can. J. For. Res.* 24: 337–349.
- CORRAL-RIVAS J.J. 2006. Models of tree growth and spatial structure for multi-species, uneven-aged forests in Durango (Mexico). Cuvillier, Göttingen.



- CORRAL-RIVAS J.J., VARGAS L.B., WEHENKEL C., AGUIRRE C. O., ÁLVAREZ G. J., ROJO A. A. 2009. Guía para el Establecimiento de Sitios de Investigación Forestal y de Suelos en Bosques del Estado de Durango. Editorial UJED. Durango. 81p.
- CORRAL-RIVAS J.J., VARGAS L.B., WEHENKEL C., AGUIRRE C. O., CRECENTE F. 2012. Guía para el Establecimiento, Seguimiento y Evaluación de Sitios Permanentes de Monitoreo en Paisajes Productivos Forestales.
- CLARK, P.J., EVANS F.C. 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35:445 – 453.
- EMBORG, J.1998. Understorey light conditions and regeneration with respect to the structural dynamics of a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *Forest. Ecology and. Management.* 106: 83–95.
- FERRARI, J.B. 1999. Fine-scale patterns of leaf litterfall and nitrogen cycling in an old-growth forest. *Can. J. For. Res.* 29: 91–302.
- FÜLDER, K. 1995. Zurbestandesbeschreibung in der forsteinrichtung. *Forst und Holz* 21: 601-606.
- GADOW, K.V.; ROJO, A.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G.; RODRÍGUEZ, R. 1999. Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Fuera de Serie* n° 1:299-310.
- GADOW, K.v., HUI, G., 2002. Characterising forest spatial structure and diversity. In: Bjoerk, L. (Ed.), *Proceedings IUFRO Int. workshop 'Sustainable forestry in temperate regions'*, Lund, Sweden, 20-30 pp.
- GADOW, V. K, ZHANG, C.Y, WEHENKEL, C., POMMERENING, A., CORRAL-RIVAS, J., KOROL, M., MYKLUSH, S., HUI, G.Y., KIVISTE, A., Y ZHAO, X.H. 2012. Forest Structure and Diversity, Chapter 2, In: Pukkala T. and Gadow K. v. (eds.): *Continuous Cover Forestry. Book Series Managing Forest Ecosystems Vol 24*, Springer Science+Business Media B.V.: 29-83 pp.
- HUI, G., GADOW, K.V. 2002. Das Winkelmaß. Herteilung des Optimalen Standarwinkels. *Allgemeine Forst u Jagdzeitung* 10:173-177.



- KINT, V., VAN MEIRVENNE, M., NACHTERGALE, L., GEUDENS, G. AND LUST, N. 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest-neighbor indices and variogram analysis. *Forest Science* 49: 36-49.
- MCKENNEY, D.W., SIMS, R.A., SOULE, M.E., MACKEY, B.G., CAMPBELL, B.G. 1994. Towards a set of biodiversity indicators for Canadian forests: proceedings of a forest biodiversity indicators workshop, held at Sault Ste. Marie, Ontario, November 29 - December 1, 1993. Canadian Forest Service, Natural Resources Canada, Sault Ste. Marie, Ontario
- NOON, B.R., SPIEST.A., RAPHAEL, M.G. 1999. Conceptual basis for designing and effectiveness monitoring program. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-437. 138 pp.
- POMMERENING, A., STOYAN D. 2006. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Can. J. For. Res.* 36: 1723–1739.
- PRETZSCH, H. 1995. Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung.* 166:190–201.
- RIPLEY B.D. 1977. Modeling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B* 39:172-212.
- SHANNON, C.E. 1949. The mathematical theory of communication. En C.E. Shannon y W. Weaver (Ed): *The mathematical theory of communication urbana*, Univ. Of Illinois Press 3-91.
- SPIES, T.A. 1998. FOREST structure: a key to the ecosystem. *Northwest Science* 72(2): 34–39.