

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Indicadores Ambientales Asociados al Abastecimiento Forestal en un Bosque de pino-encino en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán

Por:

HILDA LENNY HERNÁNDEZ ACOSTA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre, 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Indicadores Ambientales del Abastecimiento Forestal en un Bosque de pino-encino
en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán

Por:

HILDA LENNY HERNÁNDEZ ACOSTA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

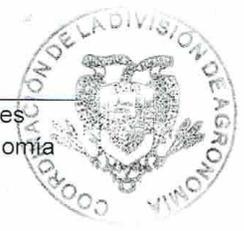
Aprobada por el Comité de Asesoría:

M.C. Héctor Darío González López
Asesor Principal

Dr. Alejandro Zárate Lupercio
Coasesor

M.C. José Armando Nájera Castro
Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Agosto, 2020

Este trabajo ha sido apoyado por el Proyecto “Indicadores Ambientales del Abastecimiento Forestal en un Bosque de pino-encino en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán” con clave 38111-4251001-2328. Proyecto perteneciente al departamento forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a cargo del M.C. Héctor Darío González López.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater por abrirme las puertas y darme la oportunidad de estudiar una carrera, gracias a ella conocí a grandes personas que con el tiempo se convirtieron en mi segunda familia y adquirí experiencias que me ayudarán en mi vida como profesional.

Al M.C. Héctor Darío González López

Por confiar en mí, porque a pesar de algunas dificultades no desistió para que yo cambiara de decisión en realizar tesis, gracias igual por todo el tiempo invertido y por las enseñanzas a través del trayecto de la carrera.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio

Por aceptar apoyarme en este trabajo de tesis, por su tiempo brindado, sus consejos y por ser siempre un excelente profesor que se preocupó por nosotros, sus alumnos.

Al M.C. José Armando Nájera Castro

Por formar parte de mi grupo de asesores, por su apoyo y dedicación brindada en la realización de esta tesis, por ser un gran profesor durante el transcurso de la carrera, pero sobre todo por sus enseñanzas.

Al Dr. Jorge Méndez González

Por su apoyo en el uso y manejo del programa estadístico Rstudio, gracias a él fue posible realizar parte del análisis de datos.

A mi compañera Alejandra Castro Alonso

Por haberme permitido darle seguimiento a su tema de tesis que realizó en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán; gracias a esto tuve la oportunidad de conocer este maravilloso estado.

A la Dirección Técnica Forestal de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro y en particular al Biol. Felipe López Guerrero y al compañero Francisco Rodríguez Chávez por su apoyo y compañía durante el levantamiento de datos en campo.

A Carlos Enrique Gutiérrez Ávila

Por el apoyo en el levantamiento de datos; por el cariño brindado en el transcurso de la carrera, por incentivarme a aprender y a hacer cosas nuevas; por aguantar mi mal carácter y terquedad porque siendo sincera no soy nada fácil, gracias por compartir tantos momentos de felicidad conmigo. Sin duda alguna me enseñó el significado de una amistad incondicional en la que las diferencias nunca son un obstáculo para que dos personas puedan ser grandes amigos.

A Julio Salazar Hernández

Por su amistad y apoyo incondicional, por sus preocupaciones, regaños y por enseñarme cosas que sin duda alguna me fueron de gran utilidad en la redacción y culminación de este trabajo.

A Otoniel Cruz Pérez

Por el apoyo y tiempo brindado al hacer los trámites correspondientes para que pudiera presentar este trabajo; por cuidar de mi hermana y de mí, y especialmente por brindarnos su compañía y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A mis padres

Susana Acosta Sánchez y Manuel Hernández Lemus por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por sus consejos, por siempre creer en mí, pero sobre todo por ser unos grandiosos padres a los cuales les debo y agradezco infinitamente darme la oportunidad de tener una profesión.

A mi hermana

Arely Hernández Acosta, por el cariño, comprensión y apoyo incondicional que me brindo durante toda mi carrera, por siempre cuidarme, por regañarme cuando era necesario y también cuando no; sin duda alguna es bueno contar con una persona que además de ser mi hermana, sea mi amiga.

A mi hermano

Juan Pablo Hernández Acosta, por cuidar y apoyar a nuestros padres durante el tiempo que estuvimos lejos, por la motivación de siempre dar lo mejor para llegar a la meta, y por mi hermoso sobrino Ángel Alexander que desde el momento en que nació fue una motivación más en mi vida para superarme y para ser una mejor persona.

A mi abuelita

Margarita Sánchez Licon, por ser la mejor abuelita, por sus consejos, su amor incondicional, por preocuparse por mí y por siempre querer brindarme su apoyo sin importar cual fuera el momento y la situación.

A mi tía

Candelaria Hernández Lemus †, por todo su cariño y amor, por siempre creer en mí, por estar conmigo en cada momento, pero sobre todo por quererme como una hija y estoy segura estaría feliz de este nuevo logro en mi vida.

A mis demás familiares y amigos que durante el trayecto de mi carrera me apoyaron y me brindaron palabras de aliento, confiando y creyendo en mí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	III
I. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo general.....	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	4
1.2 Hipótesis	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Abastecimiento Forestal	5
2.2 Operaciones del Abastecimiento	7
2.2.1 Derribo.....	7
2.2.2 Desrame	8
2.2.3 Troceo	9
2.2.4 Arrastre.....	9
2.2.4 Carga y Transporte.....	10
2.3 Sistemas de Abastecimiento.....	10
2.3.1 Abastecimiento de Árbol Completo	11
2.3.2 Abastecimiento de Fuste Completo.....	11
2.3.3 Abastecimiento de Trozo.....	11
2.4 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).....	12
2.5 Factores Ambientales que Influyen en el Abastecimiento.....	13
2.5.1 Factores Geográficos	13
2.5.2 Factores Fisiográficos	13
2.5.3 Factores Climáticos	13
2.5.4 Factor de Masa.....	14
2.6 Rendimiento en el Trabajo Forestal	14
2.7 Productividad	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 Ubicación del Área de Estudio.....	16
3.2 Descripción del Área de Estudio	17
3.2.1 Clima	17

3.2.2	Edafología	17
3.2.3	Hidrología	17
3.2.5	Vegetación.....	18
3.3	Metodología	20
3.3.1	Descripción del Método	20
3.4	VARIABLES EVALUADAS	20
3.4.1	VARIABLES AMBIENTALES	20
3.4.2	VARIABLES DASMÉTRICAS.....	21
3.4.3	VARIABLES FISIGRÁFICAS.....	21
3.4.4	VARIABLES SILVÍCOLAS.....	21
3.4.5	Tiempo y Rendimiento.....	22
3.4.6	Coeficiente de Productividad	23
3.4.7	Tipo de muestreo y tamaño de muestra	23
3.4.8	Análisis estadístico	25
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
V.	CONCLUSIONES.....	32
VI.	RECOMENDACIONES.....	33
VII.	LITERATURA CITADA	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Tipos de suelo en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.....	17
Cuadro 3.2 Principales especies arbóreas en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.....	19
Cuadro 3.3 Factores y niveles del análisis factorial.....	26
Cuadro 4.4 Análisis de datos Stepwise.....	27
Cuadro 4.5 Análisis de varianza del análisis factorial.....	28
Cuadro 4.6 Análisis de datos del análisis factorial.....	29
Cuadro 4.7 Comparación de medias de Duncan para el factor tratamiento silvícola.....	29
Cuadro 4.8 Comparación de medias de Duncan para el factor pendiente.....	30
Cuadro 4.9 Comparación de medias de Duncan para el factor diámetro normal promedio.....	31
Cuadro 4.10 Comparación de medias de Duncan para la interacción pendiente con diámetro normal promedio.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Ubicación del área de estudio	16
--	----

RESÚMEN

El presente estudio se realizó en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán (CINSJP) con el fin de identificar los indicadores ambientales asociados y mayormente relacionados con la operación de corte y directamente con el rendimiento ($m^3/hora$) del abastecimiento forestal en el periodo de invierno de la anualidad 2017.

Para garantizar la confiabilidad de los datos se aplicó una prueba de normalidad (Shapiro-Wilk), al resultar una distribución no normal se realizó una prueba no paramétrica (Prueba de Kruskal-Wallis), posterior a esto se hizo una prueba de correlación simple (r Lineal de Pearson) de cada variable con rendimiento y por tratamiento que permitió realizar una normalización de las variables que resultaron significativas.

Mediante el método Stepwise se determinaron los indicadores asociados con el rendimiento forestal. Con base a este procedimiento, la distancia recorrida entre árboles derribados, el diámetro normal promedio, el tratamiento silvícola y la pendiente resultaron ser significativos; es decir que estos indicadores explican el 70% del rendimiento forestal para el periodo de invierno.

También se realizó el análisis de un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tres factores; el tratamiento silvícola, con cuatro niveles, la pendiente y el diámetro normal promedio con tres niveles, esto para identificar los indicadores mayormente relacionados con el rendimiento forestal, se complementó con una prueba de comparación de medias de Duncan para precisar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los pares de medias; los resultados del análisis factorial señalaron que los indicadores mayormente relacionados con el rendimiento forestal son el tratamiento silvícola, y el diámetro normal promedio, y en la interacción factorial, la pendiente con diámetro normal promedio; estas variables resultaron ser significantes al cumplir con la regla $(Pr>F)<0.05$; mientras que con la prueba de medias de Duncan se identificó que en cuanto a los tratamientos silvícolas aplicados, todos presentan diferencias pero el Aclareo 1 fue el más significativo, el diámetro normal promedio resultó ser relevante por sus dimensiones, y en cuanto a la interacción

factorial se mostró significativa la pendiente con diámetro normal promedio, al tener las medias más altas y un $Pr>F= 0.0063$.

Palabras clave: indicadores ambientales, rendimiento forestal, abastecimiento forestal, operación de corte.

ABSTRACT

The present study was carried out in the Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán (CINSJP) in order to identify the environmental indicators associated and mostly related to the cutting operation and directly with the yield (m^3/hour) of the forest supply in the winter period of the 2017 annuity.

To guarantee the reliability of the data, a normality test (Shapiro-Wilk) was applied, when a non-normal distribution was found, a non-parametric test (Kruskal-Wallis test) was performed, after which a simple correlation test was performed (Pearson's linear r) of each variable with performance and by treatment that allowed a normalization of the variables that were significant. Using the Stepwise method, the indicators associated with forest yield were determined. Based on this procedure, the distance traveled between felled trees, the average normal diameter, the silvicultural treatment and the slope were found to be significant; In other words, these indicators explain 70% of the forest yield for the winter period.

The analysis of a completely randomized design with a factorial arrangement of three factors was also carried out; the silvicultural treatment, with four levels, the slope and the average normal diameter with three levels, this to identify the indicators mostly related to forest performance, was complemented with a Duncan mean comparison test to specify the existence of statistically significant differences in pairs of socks; the results of the factorial analysis indicated that the indicators most related to the forest yield are the silvicultural treatment, and the average normal diameter, and in the factorial interaction, the slope with the average normal diameter; these variables turned out to be significant when complying with the rule ($\text{Pr} > F$) < 0.05 ; while with Duncan's means test it was identified that in terms of the applied silvicultural treatments, all present differences but the Thinning 1 was the most significant, the average normal diameter turned out to be relevant due to its dimensions, and in terms of the factorial interaction showed significant slope with average normal diameter, having the highest means and a $\text{Pr} > F = 0.0063$.

Key words: environmental indicators, forest yield, forest supply, cutting operation.

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques son importantes en la vida de las personas porque proporcionan materia prima para la elaboración de una serie de productos con numerosas aplicaciones en el uso cotidiano; recientemente se han realizado actividades encaminadas al aprovechamiento de los bosques de forma ordenada y estableciendo como meta satisfacer necesidades de la sociedad; el aprovechamiento de estos recursos representa una actividad que contribuye al desarrollo del sector forestal (Aguirre, 2015).

Los recursos forestales son un bien de importancia para el desarrollo económico y social en muchas regiones del país, esto hace imprescindible que los recursos sean utilizados de la manera más eficiente posible (Zárate, 2012).

El abastecimiento forestal es una actividad compleja que engloba una serie de operaciones como: el derribo, desrame, troceo, arrime, carga y transporte, las cuales en conjunto permiten convertir árboles en pie a materias primas; es una actividad que requiere una buena planeación porque existen factores biológicos, ambientales, técnicos, humanos y económicos que se pueden afectar de forma directa e indirecta; todo esto permite aplicar la técnica apropiada para obtener una mayor producción en un menor costo (López *et al.*, 1999).

Todas las operaciones que conlleva este proceso causan irremediablemente algún impacto, ya sea a la vegetación remanente, al suelo o a las fuentes de agua (Contreras *et al.*, 2001). Por otra parte, Soerianegara (1978) menciona que se deben tomar medidas para minimizar los efectos negativos y poder rehabilitar los sitios dañados y asegurar la cosecha futura.

En México los estados con mayor vocación forestal son: Durango, Chihuahua, Michoacán, Oaxaca y Jalisco debido a que se encuentran en parte de la Sierra Madre Occidental (Guerrero, 2015).

Puesto a la importancia que tiene el estado de Michoacán en el sector forestal, se eligió a la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP) como el área de estudio para determinar la relación de los indicadores ambientales en el proceso del abastecimiento forestal; esta comunidad tiene la reputación de ser una de las iniciativas más exitosas del manejo forestal comunitario en México porque está basada en una organización consolidada, un aprovechamiento eficiente e incluso una expansión de la cubierta forestal.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar la relación que presentan los indicadores ambientales con la operación de corte del abastecimiento forestal en un bosque de pino-encino en el periodo de invierno correspondiente a la anualidad 2017 en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar los indicadores ambientales asociados al rendimiento forestal en el periodo de invierno en un bosque de pino-encino.
- ✓ Determinar los indicadores ambientales mayormente asociados al rendimiento forestal en un bosque de pino-encino.

1.2 Hipótesis

Ho: Ningún indicador ambiental presenta influencia con la operación de corte del abastecimiento forestal en un bosque de pino-encino, en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Ha: Al menos un indicador ambiental presenta influencia con la operación de corte del abastecimiento forestal en un bosque de pino-encino, en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Abastecimiento Forestal

En México, el abastecimiento forestal en bosques de clima templado es una actividad que las comunidades frecuentemente realizan para subsistir, pero su constante practica ocasiona impactos tanto temporales como permanentes que afectan gran parte de la vegetación circundante (Luna, 2011).

Návar (1979) define al abastecimiento de productos forestales como el conjunto de operaciones y actividades organizadas y coordinadas que hacen posible la transformación de árboles derribados en otras materias primas (trozos, postes, leñas, astilla, brazuelo). Dykstra y Heinrich (1996) expresan que el abastecimiento forestal también es considerado un sistema de colecta de madera que consta de tres actividades u operaciones básicas: derribo, arrastre y transporte; y tres sub-operaciones: desrame, troceo y carga; además consideran la importancia de contar con una buena planeación y un control de costos de las operaciones y de los recursos humanos.

Por otra parte, Cárdenas (1981) considera que el abastecimiento forestal representa el nexo de unión entre el manejo integrado de los recursos forestales y la industrialización de los mismos debido a que simbolizan un conjunto de procesos continuos, dependientes y al mismo tiempo complementarios.

Muñoz (2010) a su vez, define al abastecimiento como una serie de operaciones que se realizan para convertir árboles en pie en materias primas, pero también contemplan que la movilización de los árboles derribados desde el bosque hasta los patios de la industria, así como el trazo y la construcción de las brechas y caminos forestales forman parte del abastecimiento forestal.

En relación a la parte normativa, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2003) hace referencia a la extracción de los recursos forestales del medio en que se encuentren, incluye los maderables y los no maderables, pero respetando la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte estos recursos por periodos indefinidos.

De acuerdo con Aguirre (2015) la práctica del abastecimiento se desarrolla principalmente como una respuesta a la demanda del mercado nacional e internacional de maderas, pero se realiza ignorando muchos aspectos importantes de los ecosistemas forestales como los ambientales y ecológicos, los bienes y servicios que brindan, así como las implicaciones sociales, económicas, ambientales de los ecosistemas forestales y su manejo.

Toledo *et al.* (2001) mencionan que las diferentes operaciones del abastecimiento forestal causan varios daños al bosque residual dependiendo la intensidad del aprovechamiento. Entre los daños ocasionados están los cambios en las condiciones edáficas, la apertura del dosel o claros, daños al arbolado residual, erosión del suelo y disminución de la cobertura boscosa; es por esto que se considera importante incluir una planeación, ejecución y control de cada una de las operaciones y actividades del abastecimiento.

Muñoz (2010) indica que el proceso del abastecimiento considera las condiciones fisiográficas (topografía del terreno, pendientes y tipo de suelo), las condiciones climáticas (principalmente la precipitación), las dimensiones de los productos, el volumen a cosechar por hectárea, la disponibilidad de tecnología, mano de obra y la situación socioeconómica regional.

Durante el abastecimiento ocurre una perturbación temporal en el hábitat a nivel de rodal, para remediar esto se aplican mejores prácticas de manejo que permiten la protección del hábitat de la flora y fauna silvestre y ayudan a incrementar la productividad de los sitios forestales y a reducir la pérdida de suelo y la contaminación de los cuerpos de agua (Gayoso, 1999).

2.2 Operaciones del Abastecimiento

Las operaciones del abastecimiento son un conjunto de actividades continuas, dependientes y complementarias planificadas con anticipación para extraer productos del bosque de acuerdo a su capacidad productiva, y al mismo tiempo garantizan la entrega de materia prima a los centros de transformación, a partir de árboles en pie (Cárdenas, 1980).

Por ser un conjunto de actividades complejas requieren una buena planeación debido a que engloba factores biológicos, ambientales, técnicos, humanos y económicos que pueden afectar de manera directa e indirecta (Nájera, 2010).

Vera (1982) describe que es importante optimizar la asignación de los recursos para reducir costos en las operaciones del abastecimiento y contribuir al aumento de la rentabilidad en la actividad forestal.

Nájera (2010) señala que las operaciones del abastecimiento forestal son seis: Derribo, Desrame, Troceo, Arrastre, Transporte y Carga; si se realizan de manera correcta se consiguen los objetivos económicos, silvícolas, ambientales y sociales; además la cadena productiva forestal del abastecimiento representa una fase fundamental para la obtención de productos donde los costos representan una gran parte de la inversión.

2.2.1 Derribo

Es la operación de interés en este trabajo y de acuerdo con Villagómez (2011) es la primera actividad del abastecimiento, se realiza con motosierras y consiste en la selección del arbolado, en la remoción de los obstáculos y el derribo direccional; juega un papel significativo debido a que su eficiencia garantiza el éxito en la extracción de los productos del bosque. Por otra parte, Seas (2016) menciona que esta operación garantiza el abastecimiento de trozas con el menor daño y mayor rendimiento para la operación del arrastre.

Mientras que Santillán (1986) menciona que esta operación consiste en la separación del árbol de su pie, primero se elige la dirección de caída en función de la inclinación natural del árbol, excepto cuando se requiere derribarlo hacia otra dirección para evitar daños al renuevo. Según Poschen (1993) es una de las operaciones más peligrosas para los trabajadores forestales, ya que cualquier error sobre una dirección no prevista de caída puede significar lesiones al operador, daños al arbolado derribado y a los arboles vecinos.

Los impactos ocasionados al suelo y a la cobertura vegetal son los que se manifiestan primero; el suelo sufre compactación por el peso de la troza, los brinzales y otros árboles vecinos son dañados en magnitud diferente. Es importante mencionar que el área de suelo modificado y el porcentaje de cobertura vegetal afectado dependen de la superficie sujeta al aprovechamiento (Colegio de postgraduados, 1990). Esta operación causa el mayor daño a la masa arbórea residual inclusive más que el arrastre (Nájera *et al.*, 2012).

Yilmaz y Akay (2008) proponen que para reducir los impactos es necesario tomar medidas preventivas, como asegurar las direcciones de caída de los arboles durante el derribo, tener una buena planificación de los carriles y brechas de acceso, capacitar a los trabajadores forestales en técnicas de trabajo de bajo impacto y disminuir las distancias de arrastre.

2.2.2 Desrame

Esta operación consiste en eliminar todas las ramas que se encuentren en el fuste a extraer con una motosierra; los cortes se realizan al ras del tronco para una mejor manipulación en la operación del arrastre y transporte (Nájera, 2010).

Santillán (1986) coincide con Nájera (2010) en la descripción de esta operación, pero menciona que es importante que todos los residuos vegetales se concentren en pequeños montículos para evitar la producción de plagas y enfermedades.

Dykstra y Heinrich (1996) la describen como una operación que conlleva mucho tiempo para su realización por lo que se aconseja elegir la herramienta adecuada y tener un buen dominio de la técnica a emplear.

2.2.3 Troceo

Villagómez (2011) menciona que consiste en dimensionar las longitudes de las trozas derribadas con un flexómetro y realizar los cortes necesarios con una motosierra para obtener medidas comerciales que faciliten la extracción y eviten daños a los árboles remanentes.

Mientras que Santiago (2013) la describe como la operación que consiste en dividir el fuste del árbol en una o varias trozas con medidas comerciales, tratando de aprovechar la madera de la mejor manera para obtener un mayor número de trozas de buena calidad y al mismo tiempo evitar la presencia de accidentes, pero también hace referencia que es importante limpiar el área de caída del fuste para una mejor visibilidad al momento de realizar la medición y troceo del fuste.

2.2.4 Arrastre

Es una de las operaciones más importantes por el costo que representa y el impacto ambiental que puede causar; consiste en enganchar y deslizar una troza de forma mecanizada (con motogrúas o tractores forestales), ocasiona un gran impacto en el suelo debido a que se jalan las trozas hacia los carriles siempre a favor de la pendiente (Cándano *et al.*, 2004).

Los posibles impactos del abastecimiento forestal sobre el suelo y agua dependen de las características de la cubierta vegetal, área de extracción, cercanía de cauces y corrientes, así como del mismo suelo (Colegio de Postgraduados, 1990). Los mayores efectos en el suelo se dan por la formación de canales que favorecen la concentración de escurrimientos de las áreas forestales, esta perturbación presenta efectos devastadores pues con ello puede iniciarse la formación de cárcavas y la modificación del drenaje superficial. Así, los canales formados por las trozas durante el arrime son focos de erosión que, al integrarse a las corrientes naturales aportan sedimentos y contaminan el agua de las cuencas (Nájera *et al.*, 2012).

2.2.4 Carga y Transporte

La **carga** se puede realizar tanto de forma manual como mecanizada (con motogrúa operada por dos cableros que enganchan y controlan el arrastre y carga de las trozas) y consiste en enganchar las trozas derribadas para acomodarlas en los vehículos de carga responsables de llevarlas hasta el centro de transformación; mientras que el **transporte**, se caracteriza por trasladar la madera de las áreas de aprovechamiento hasta los centros de transformación (Zárate, 2012).

Zaragoza (2011) enfatiza en que la realización de estas operaciones conlleva altos costos originados por el tiempo que cada camión espera para poder ser cargado y descargado; también considera que las variables de categoría diamétrica y longitud de las trozas influyen en el incremento del tiempo de carga y descarga debido a que requieren de mayor tiempo para acomodar las trozas en el camión.

2.3 Sistemas de Abastecimiento

Novo (2013) menciona que un sistema de abastecimiento es la forma o el estado en que se transporta la madera desde el lugar de corta hasta el cargadero. De acuerdo con Nájera (2010) existen tres diferentes alternativas que permiten lograr con mayor eficiencia las operaciones del abastecimiento: abastecimiento de árbol completo, de fuste completo y de trozo, Dykstra y Heinrich (1996) complementan que estas alternativas se encuentran relacionadas con elementos como: una planificación detallada; una implementación y control eficaz de las operaciones; una completa evaluación post-aprovechamiento y una buena capacitación al personal de campo.

Los métodos de aprovechamiento dependen de la región, del equipo que se utilice, de la especie a aprovechar, del tipo de suelo, de la topografía del lugar, de la distancia y del clima (Santiago *et al.*, 2013).

2.3.1 Abastecimiento de Árbol Completo

Consiste en movilizar el árbol completo, es poco utilizado (solo para la cosecha de árboles de navidad) y es un método no muy común por el alto costo de inversión y el desplazamiento de mano de obra que requiere (Nájera, 2010).

Con la aplicación de este sistema se aprovecha un 30-40% más de madera, hace innecesaria la operación final de limpieza y los costos de mano de obra se reducen por ser el sistema más mecanizado; pero presenta la desventaja de que los daños al suelo y a la masa residual son altos debido a que se extraen árboles de mayor volumen y peso (Novo, 2013).

2.3.2 Abastecimiento de Fuste Completo

Consiste en desplazar el tronco sin el ramaje, se utiliza cuando se cosechan grandes volúmenes para ser trasladados a grandes distancias de arrime, o para arrastrar productos obtenidos de aclareos. Este corresponde al método empleado en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro y es el más utilizado en la industria maderera, además predomina en las operaciones que se llevan a cabo en los bosques naturales (Nájera, 2010).

Los daños generados al suelo y a la masa residual por este sistema son bajos porque son fustes y no arboles con mayor volumen; se pierde de un 30-40% de la madera y los costos de abastecimiento aumentan porque el número de operaciones aumentan y son menos mecanizadas (Novo, 2013).

2.3.3 Abastecimiento de Trozo

Es otro método empleado en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, consiste en movilizar secciones del fuste sin ramas, abastece a la industria del aserrío y es la forma más apropiada para el aprovechamiento de los bosques mexicanos (Nájera, 2010).

Los daños al suelo y a la masa residual son bajos porque se obtienen trozas y no fustes, o arboles completos por arrastre con mayor volumen o peso; se pierde de un 30-40% de madera y al igual que el sistema anterior los costos del abastecimiento

aumentan porque el número de operaciones es mayor que en el sistema de fustes y árboles enteros (Novo, 2013).

2.4 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

Es un proceso que considera el análisis de diversos aspectos biofísicos (la degradación de ecosistemas, la pérdida de especies, el cambio en la resiliencia) y antropogénicos (la relación con la vulnerabilidad social, la reversibilidad de impactos y consecuencias económicas), además integra tres componentes conceptuales: ecosistémico, administrativo e investigación (Peterson *et al.*, 1987).

Méndez (1990) la define por ser un procedimiento jurídico administrativo que tiene como objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos. Mientras que Louman (2002) considera que los impactos producen alteraciones susceptibles, afectan la capacidad productiva de los recursos naturales y los procesos ecológicos.

Duek (1995) la caracteriza como la base para evaluar los impactos potenciales sobre el ambiente, además de ser un inventario ambiental, el cual consiste en una descripción completa del ambiente donde se describen los componentes físico-químicos, biológicos, culturales y socioeconómicos.

Gullison y Hardner (1993) señalan que las tres principales fuentes de impacto en el aprovechamiento son la vialidad, la tumba y el arrastre; pero Louman (2002) menciona que existen evidencias de que los impactos sobre la vegetación y el suelo se incrementan con la intensidad del aprovechamiento, y que el aprovechamiento controlado permite aprovechar un mayor volumen por hectárea sin aumentar los daños. Mientras que Seas (2016) confirma que los impactos están relacionados directamente por la intensidad de aprovechamiento.

2.5 Factores Ambientales que Influyen en el Abastecimiento

Reyes (2009) menciona que existen factores que condicionan el abastecimiento, estos se clasifican en factores geográficos, fisiográficos y climáticos.

2.5.1 Factores Geográficos

Los más importantes son la latitud y la altitud. La latitud condiciona el número de horas de luz diarias y por lo tanto el trabajo en los aprovechamientos, las operaciones manuales pueden presentar limitaciones en cuanto a su realización por la ausencia de luz natural. Con respecto a la altitud; si se presenta un incremento de esta puede ocurrir la disminución de la presión atmosférica y del oxígeno del aire, y por ende menos rendimiento (Reyes, 2009).

2.5.2 Factores Fisiográficos

El factor más importante es la pendiente, esta representa el grado de inclinación del terreno y se expresa en porcentaje (%), determina la factibilidad del abastecimiento, condiciona a un menor uso de la maquinaria y por consecuencia un mayor número de riesgos laborales (Reyes, 2009); la combinación de este factor con el clima (alta precipitación) hacen más difíciles las condiciones del abastecimiento (Muñoz, 2010).

2.5.3 Factores Climáticos

Los más importantes son la temperatura, la humedad relativa y la precipitación. La precipitación tiene gran importancia porque puede causar la suspensión de todas las labores del abastecimiento (Reyes, 2009).

Considerando que la precipitación es la más importante de los factores climáticos, la operación del arrastre se debe realizar durante la época de ausencia de lluvias porque es cuando la capacidad de carga del suelo aumenta y permite un mayor rendimiento en el uso de maquinaria. Mientras que el abastecimiento en la época de lluvias conlleva a un mayor desgaste de la maquinaria, un menor rendimiento durante el arrastre, el transporte e incremento en los tiempos improductivos, además de que eleva los costos de extracción e imposibilita el arrastre y el transporte de la madera (Reyes, 2009);

Muñoz (2010) argumenta que las operaciones del abastecimiento en época de lluvias aumentan el impacto en el suelo y en la vegetación circundante.

2.5.4 Factor de Masa

Este factor hace referencia a las características de la especie, como la edad, la forma, el tamaño y número de árboles; siendo el tamaño de los árboles el factor más importante desde el punto de vista de rendimiento, ya que, al concentrarse un gran volumen en una o dos trozas, el rendimiento de la máquina aumenta y se causan menos impactos (Reyes, 2009). Por otra parte, el tamaño del producto también puede obligar a utilizar métodos más costosos que causen mayor alteración que hagan antieconómico el arrastre (Santos, 2005).

Otro aspecto importante es la densidad de la vegetación; Cordero y Meza (1993) señalan que conforme aumenta la densidad del sotobosque, también aumenta la dificultad para que la maquinaria maniobre y, por ende, aumentan los costos de operación y los daños al bosque.

2.6 Rendimiento en el Trabajo Forestal

El estudio de tiempos hace referencia a la medida cuantitativa, clasificación sistemática y análisis crítico del tiempo empleado en cada operación del trabajo del abastecimiento forestal con el propósito de determinar la eficiencia, la productividad y costos de realización (Zárate, 2012).

Ambrosio y Tolosano (2007) argumentan que el estudio de los tiempos y rendimientos son importantes para la adecuada planificación del trabajo ya que permiten controlar el tiempo empleado en las operaciones realizadas en el trabajo del monte, y sirven para elaborar un cálculo de costos del trabajo.

El rendimiento está en función de las dimensiones del árbol (en concreto del diámetro), de la fisiografía del terreno (expresada por el factor de pendiente del terreno) y las condiciones climáticas (principalmente la precipitación) (Zárate, 2012). Aunado a lo anterior Meza (2005) argumenta que la densidad de los árboles, la especie, el tamaño y la topografía son variables que también influyen en el rendimiento.

Según Lustrum (2013) existen dos factores que afectan la calidad y el rendimiento del trabajo forestal: la capacidad mecánica del equipo utilizado y la capacidad y destreza de los operadores al manejarlo.

2.7 Productividad

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) (1996) la define como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos, la cantidad de recursos utilizados, y está relacionada con unidades de tiempo-recurso; ya que representa la premisa básica en el abastecimiento forestal (Fath, 2001).

Álvarez (2011) menciona que la productividad son los m³/hora que el motosierrista rinde y se puede correlacionar con el diámetro normal del fuste, la pendiente, la temperatura del ambiente y la velocidad del viento. Elevar la productividad significa producir más con la misma cantidad de recursos, o producir lo mismo con menos recursos. Aunado a lo anterior existen variables directas e indirectas que afectan a la productividad; dentro de las directas se encuentra la extensión de las áreas de corta, las características de los fustes, los diámetros y largo de las trozas, la topografía del terreno y la naturaleza de los suelos; mientras que en las indirectas esta las variaciones climáticas (principalmente la precipitación) y la disponibilidad de mano de obra (Wadousky, 1987).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del Área de Estudio

El presente trabajo se realizó en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP) ubicada en la parte occidental del estado de Michoacán, abarca tres municipios (Nuevo Parangaricutiro, Tancítaro y Uruapan), tiene una superficie total de 18,138.20 has y se encuentra a 18 kilómetros al oeste de Uruapan, una de las ciudades más antiguas de México. Los terrenos de la comunidad mantienen colindancia al oeste y norte con las comunidades indígenas de Caltzontzin, Santa Ana Zirotto, Zacán y Angahuan.

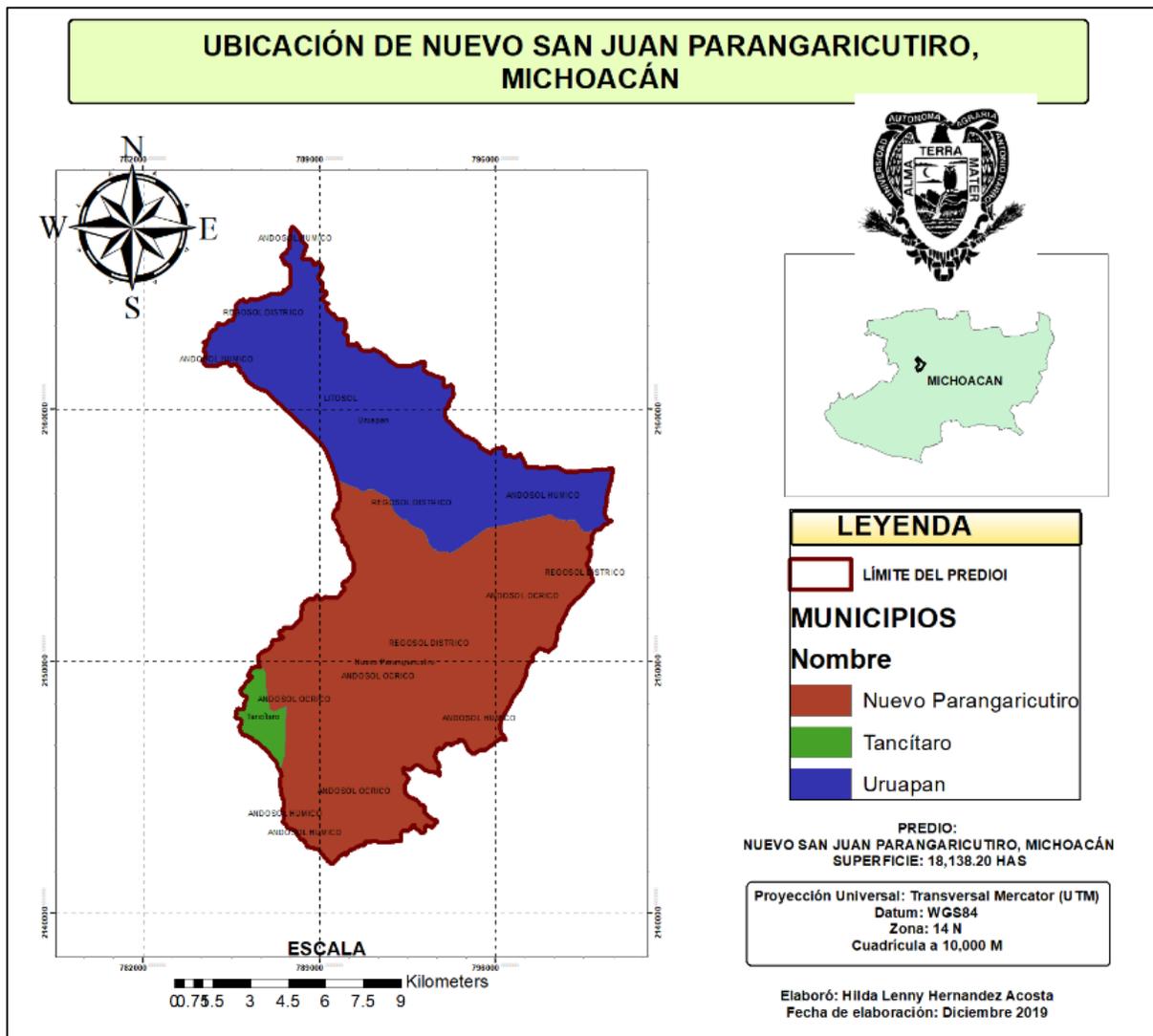


Figura 3.1 Ubicación del área de estudio (Elaboración propia).

3.2 Descripción del Área de Estudio

3.2.1 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García (1964) el predio de la comunidad se caracteriza por presentar un clima templado, con abundantes lluvias en verano (A)C(W2) (w)B(I)G, con lluvia invernal menor del 5%; temperatura media anual de 18° C y la del mes más frío oscila entre 3 y 18° C; la precipitación corresponde a 1,400 mm.

3.2.2 Edafología

El área de estudio presenta cuatro diferentes tipos de suelo (Andosol húmico, Regosol dístico, Litosol y Andosol ócrico), siendo el Andosol ócrico de textura gruesa el más predominante y abarca el 47.1 % del área; y el Regosol dístico de textura gruesa abarca un 28.3% de la superficie (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Tipos de suelo en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán

Tipo de suelo	Textura	Área (m ²)	%
Andosol húmico	Media	19886771.1	11
Regosol dístico	Gruesa	51054371.41	28.3
Litosol	Gruesa	24508586.34	13.6
Andosol ócrico	Gruesa	85065449.81	47.1
Total		180515178.7	100

Fuente: Elaboración propia, mapas generados en ArcGis 10.3

Nota: Escala utilizada 1:50000.

3.2.3 Hidrología

El predio de la comunidad se encuentra dentro de la Región Hidrológica 18- Río Balsas, la subcuenca J-Río Tepalcatepec Bajo, la microcuenca G-Río Cupatitzio, A-Río Tepalcatepec Bajo; dentro del predio se encuentran varios nacimientos de agua (permanentes y temporales) que han sido excluidos del aprovechamiento maderable para evitar impactos negativos al suelo (Velázquez *et al.*, 2003).

3.2. 4 Geología

El predio forma parte del Sistema Volcánico Transversal, y específicamente del extremo suroccidental de la Meseta Tarasca dentro de la Subprovincia volcánica Tarasca. Geológicamente se trata de una región de origen volcánico, en su mayor parte, con predominio de:

- Basaltos: rocas de origen volcánico que provienen de un origen geológico, se forman por la efusión de lava, es muy dura, de color gris oscuro o negro verdoso; lo más característico es la presencia de una multitud de vacuolas formadas por el escape de los gases que contiene durante el proceso de cristalización.
- Andesitas: rocas ígneas volcánicas, de tonalidades grisácea oscura o negra, es la roca volcánica más común después del basalto (Velázquez *et al.*, 2003).

3.2.5 Vegetación

La vegetación predominante en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro es de bosque de pino-encino y bosque de pino-abies, típico de todos los sistemas montañosos del país, principalmente entre los 1,000 y 2,800 metros de altitud sobre el nivel del mar, las especies más representativas son: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus leiophylla*, *Pinus montezumae*, *Abies religiosa*, *Pinus teocote* y *Pinus devoniana* (cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Principales especies arbóreas en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán

Especie	Nombre común	%
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Pino canis	53.53
<i>Pinus leiophylla</i>	Pino chino	7.63
<i>Pinus montezumae</i>	Pino lacio	11.06
<i>Pinus devoniana</i>	Pino lacio	8.77
<i>Pinus lawsoni</i>	Pino ortiguillo	0.49
<i>Pinus teocote</i>	Pino colorado	4.13
<i>Pinus ayacahuite</i>	Pino ocote	0.55
<i>Abies religiosa</i>	Pinabete	8.91
<i>Quercus rugosa</i>	Encino	1.54
<i>Quercus laurina</i>	Encino	1.35
<i>Quercus candicans</i>	Encino	0.74
<i>Alnus jorullensis</i>	Tepamo	0.87
<i>Alnus acuminata</i>	Aile	0.43

Fuente: Programa de Manejo de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Debido a la diversidad de flora que existe en el área, la operación de corte se hace mediante el derribo dirigido para no dañar a la vegetación residual y evitar la generación de impactos al arbolado residual y al suelo principalmente. Mientras que el arrime de las trozas se realiza con cable y de un extremo para que el arrastre no sea cruzado y no ocasione daños en la vegetación herbácea y renuevo de especies maderables (Programa de Manejo Forestal de la CINSJP).

3.3 Metodología

3.3.1 Descripción del Método

El presente estudio da seguimiento a una investigación realizada en el año 2017 en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán donde se evaluó la operación de corte durante la temporada de verano e invierno. La operación de derribo se ejecutó mediante el Método Tradicional (MT), realizado con un solo operador, el motosierrista evalúa el árbol y la dirección de caída, realiza el apeo, desrame y troceo del árbol derribado (Zaragoza, 2011).

Para este trabajo se consideró la temporada de invierno y las variables fisiográficas (suelo, vegetación), ambientales (temperatura ambiental, humedad relativa, altitud, pendiente, exposición), dasométricas (altura, diámetro normal, inclinación del árbol), silvícolas (especie, tratamiento silvícola) y datos de rendimientos ($m^3/hora$); considerando lo anterior se realizó una visita verificativa en campo para corroborar la información disponible respecto a la anualidad 2017 y para conocimiento del área de estudio.

3.4 Variables Evaluadas

3.4.1 Variables Ambientales

La temperatura ambiental se registró con un termómetro ambiental, la humedad relativa se determinó con la aplicación Windy.com. Se utilizó un GPS Garmin modelo GPSMAP78s para definir la altitud a la que se encontraban las áreas donde se derribaron individuos, de igual manera se definieron las coordenadas (UTM) para georreferenciar cada uno de los árboles derribados.

Para cuantificar la pendiente del terreno se utilizó un clinómetro Suunto con unidad de medida en porcentaje para facilitar la medición en campo. La determinación de la exposición se realizó al momento en que el motosierrista derribaba el árbol, y para esto se utilizó una brújula Suunto Mc-2g Usgs Mirror Compass.

3.4.2 Variables Dasométricas

El diámetro considerado fue a la altura del pecho (a 1.30 m de altura), se midió a cada árbol con una cinta diamétrica Forestry Suppliers Inc. 800-647-5368, Jackson, MS antes de que fuera derribado por el operador.

La altura total se obtuvo antes de que el árbol fuera apeado a través de un clinómetro Suunto con unidad de medida en metros. Por medio de una tabla de volúmenes proporcionada por la Comunidad se determinaron los volúmenes apeados de cada árbol considerando su diámetro y altura total.

3.4.3 Variables Fisiográficas

Para describir el tipo de suelo y vegetación presentes en el área de estudio se utilizó el Sistema de Información Geográfica ArcMap Versión 10.3 y cartas temáticas (suelo y vegetación) con escala 1:50000 obtenidas de la plataforma INEGI.

3.4.4 Variables Silvícolas

La identificación de la especie se realizó de forma visual, considerando características como: número de acículas, tipo de vaina, forma del cono, entre otras; las especies de los árboles derribados fueron: *Pinus leyophilla*, *martinezii*, *michoacana*, *montezumae*, *lawsoni*, *pseudostrobus* y *teocote*.

El tratamiento silvícola fue identificado con la ayuda del Programa de Manejo de la Comunidad; la anualidad 2017 tiene cinco tratamientos diferentes (1 Aclareo, 2 Aclareo, Aclareo y Corta de Liberación, Corta de Regeneración y Corta de Liberación).

3.4.5 Tiempo y Rendimiento

Los datos de rendimiento operacional se obtuvieron mediante un estudio de tiempos y movimientos de los ciclos de trabajo de la operación de derribo forestal. Se utilizó el método de **Vuelta a cero** descrito por Villagómez y García (1986) que consiste en tomar el cronometraje de los diferentes ciclos de trabajo de inicio a fin y regreso el cronometraje a **cero** para iniciar el cronometraje de un nuevo ciclo de corta; la precisión del cronómetro es de 1/100 segundos.

Bonilla (2004) señala que la medición del tiempo se debe aplicar únicamente cuando el operador la está realizando y sin ninguna limitación física para no subestimar o sobrestimar los rendimientos de la operación estudiada.

Con los datos de tiempo (s) y volumen unitario del árbol (obtenido de la tabla de volúmenes (m³) proporcionada por la CINSJP) fue posible estimar el rendimiento en metros cúbicos por hora de trabajo de la operación de derribo, tomando el rendimiento máximo para los metros cúbicos ideales mediante la siguiente ecuación (López *et al.*, 2005).

Donde:

$$R_{ht} = \frac{(3600)(V_{unitario})}{t_{trabajo}}$$

R_{ht}: Rendimiento expresado en metros cúbicos por hora de trabajo (m³/hora)

U_{unitario}: Volumen unitario del árbol (m³)

T_{trabajo}: Tiempo total de trabajo (segundos)

3.4.6 Coeficiente de Productividad

Este coeficiente se obtuvo mediante el cálculo del rendimiento y el tiempo productivo, el tiempo total del trabajo (s) y utilizando el método **Vuelta a cero**, se utilizó la siguiente ecuación (López *et al.*, 2005):

$$R_{hp} = \frac{R_{ht}}{\left(\frac{t_{productivo}}{t_{trabajo}}\right)}$$

Donde:

R_{hp} = Coeficiente de Productividad en (m^3/h_p)

R_{ht} = Rendimiento por hora de trabajo en (m^3/h_t)

$T_{productivo}$ = Tiempo productivo del trabajo (s)

$T_{trabajo}$ = Tiempo total de trabajo (s)

3.4.7 Tipo de muestreo y tamaño de muestra

Considerando que se evaluó la operación de derribo, la población de estudio en este trabajo son los motosierristas por ser los responsables de realizar la operación de derribo; se aplicó un Muestreo Aleatorio Simple (Muestreo probabilístico) porque garantiza que todos los individuos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos para la muestra (Otzen y Manterola, 2017).

El tamaño de muestra que se definió para el levantamiento de datos en campo fue de 18 motosierristas entre las dos épocas (verano e invierno) correspondientes a la anualidad 2017, los parajes visitados fueron El Arco, Pantzingo, Munuso, Tacarido y Ziraspan. Se empleó el método de Estimación de Proporción para calcular el tamaño de muestra, este se utiliza cuando se desconoce el de la población; en este caso no se conocía el número total de motosierristas en la comunidad; se asignó una $p= 0.5$ porque brinda el máximo valor de n cuando se desconoce la proporción buscada, en cuanto al grado de confianza se seleccionó el 95% porque nos indica con más certeza si nuestro parámetro estimado aparece dentro del intervalo de confianza.

En la temporada de interés (invierno) se evaluaron 14 motosierristas del total evaluado en las dos temporadas, y se analizaron 126 datos. Para el cálculo del tamaño de muestra se consideró la siguiente fórmula (Velasco *et al.*, 2002):

$$n = \frac{Z_{\alpha^2} * p * q}{d^2}$$

Donde:

n= Tamaño de muestra

Z= Valor correspondiente a la distribución de Gauss Z=0.05

p= Probabilidad de éxito, o proporción esperada

q= Probabilidad de fracaso

d= Precisión (error máximo admisible en términos de proporción)

3.4.8 Análisis estadístico

Se trabajó con datos del periodo de invierno, las variables de estudio consideradas fueron el tratamiento silvícola, pendiente, temperatura ambiental, humedad relativa, altitud, exposición, tipo de vegetación, tipo de suelo, tipo de clima, diámetro, altura y distancia entre árboles derribados, se le aplicó una prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para determinar si los datos presentaban o no una distribución normal. Al resultar una distribución no normal se aplicó una prueba no paramétrica (Prueba de Kruskal-Wallis).

En Microsoft Excel 2016 se realizó una prueba de correlación simple (r Lineal de Pearson) de cada variable con rendimiento y por tratamiento, se obtuvieron los coeficientes de determinación (R^2) y las líneas de tendencia, en base a esto se seleccionaron solo las variables que presentaron una relación significativa (R^2 alta) con el rendimiento, las variables que no resultaron seleccionadas simplemente no se consideraron.

Se realizó la normalización de las variables seleccionadas mediante la fórmula de puntuación estándar (valor a transformar – media de la distribución / Desviación estándar) en Microsoft Excel 2016 para garantizar una mayor confiabilidad y redundancia de la información.

En RStudio 3.6.2 se llevó a cabo un análisis de datos (Stepwise) para determinar cuál de las variables mencionadas anteriormente presentaba relación con el rendimiento forestal, y mediante un análisis de varianza se corroboró si al menos alguna variable causaba un efecto significativo.

Finalmente, para determinar las variables mayormente asociadas al rendimiento forestal en el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) Versión 9.0 se realizó un análisis de varianza con un diseño completamente al azar con arreglo factorial que constó de tres factores (tratamiento silvícola, pendiente, diámetro normal promedio) donde la variable dependiente fue el rendimiento forestal ($m^3/hora$) (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3 Factores y niveles del análisis factorial

Factores	Niveles	Descripción
A	1	Aclareo 1
	2	Aclareo 2
	3	Corta de Liberación
	4	Corta de Regeneración
B	1	Pendiente 10%
	2	Pendiente 30%
	3	Pendiente 50%
C	1	Diámetro promedio 32.5 cm
	2	57.5 cm
	3	82.5 cm
	Número de observaciones	106

Fuente: Elaboración propia

Nota: A= Tratamiento silvícola, B= Pendiente (%), C= Diámetro normal promedio (cm)

La diferencia estadística de cada factor se obtuvo mediante un análisis de varianza utilizando un valor de $\alpha=0.05$, se aplicó una prueba de comparación de medias de Duncan, y se identificó la existencia de una diferencia estadísticamente significativa en los pares de medias. Se empleó esta prueba porque permite trabajar con diferente número de repeticiones, además selecciona a los tratamientos con las mejores medias (García *et al.*, 2001).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó el periodo de invierno de la anualidad 2017 por tener un tamaño de muestra de 126 árboles derribados, y por presentar la mayoría de los tratamientos silvícolas aplicados (1 Aclareo, 2 Aclareo, Aclareo y Corta de Liberación, Corta de Liberación y Corta de Regeneración) de acuerdo al Programa de Manejo de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Mediante el análisis de datos (Stepwise) se determinó que los indicadores ambientales relacionados con la operación de corte, y directamente con el rendimiento forestal son la distancia entre árboles derribados, el diámetro normal, el tratamiento silvícola y la pendiente, resultaron significativos al presentar valores menores a 0.05, lo que permite tener la probabilidad de cometer el error al afirmar que los indicadores anteriores son diferentes ($Pr(>|T|)$) (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4 Análisis de datos Stepwise

REN= DR + DN + Tratamiento silvícola + P				
	Estimados	Error estandarizado	Valor de T	Pr(> T)
(Intercepto)	0.925	0.254	3.633	0.000422 ***
DR	0.019	0.005	3.437	0.000822 ***
DN	0.232	0.085	2.718	0.000822 **
Tratamiento silvícola	-0.269	0.070	- 3.848	0.000197 ***
P	0.270	0.091	2.949	0.003873 **
R²		0.6883		
R² ajustada		0.6773		

Fuente: Elaboración propia

Nota: REN= Rendimiento, DR= Distancia recorrida entre árboles, DN= Diámetro normal promedio, P= Pendiente, R²= Coeficiente de determinación

*Factores significativos

Lo anterior coincide con Tolosana (1999) quién, en un estudio obtuvo modelos simplificados globales que explican detalladamente que las variables que influyen en el rendimiento forestal son la distancia entre árboles y la pendiente; mientras que Mendoza (2015) afirma que las variables fisiográficas de mayor influencia sobre el rendimiento forestal son: el grado de inclinación, la orientación de la pendiente, la

altitud sobre el nivel del mar, la posición topográfica y puntualiza que el diámetro y la altura de los árboles también influyen.

Aunado a lo anterior, en un estudio realizado por Ambrosio *et al.* (1998) quien genero modelos de rendimiento para cada sistema de abastecimiento de la submeseta norte del país, encontró que la variable rendimiento forestal depende de varios indicadores, entre ellos el volumen unitario de los árboles extraídos, la pendiente y la ramosidad; en cuanto al sistema de abastecimiento empleado, para el de fuste completo y por trozas, que es el de interés porque se aplica en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro las variables con mayor influencia son: la distancia recorrida entre árboles derribados, volumen unitario y pendiente.

Mediante el análisis de varianza factorial se obtuvo un valor de Pr de 0.0023 menor que el de significancia ((Pr>F) < 0.05), por lo que se concluye que al menos una media de rendimiento (m³/hora) es diferente (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5 Análisis de varianza del análisis factorial

Fuente de Variación	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr>F
Modelo	22	8938.191	406.281	2.40	0.0023*
Error	83	14053.810	169.323		
Total	105	22992.002			
R²		Coefficiente de Variación	Raíz CME	Media	
0.389		59.95	13.012	21.708	

Fuente: Elaboración propia

Nota=*: Valor significativo; DF= Grados de libertad, R²= Coeficiente de determinación, CME: Cuadrado Medio del Error

Mediante el diseño completamente al azar con arreglo factorial se determinaron los indicadores mayormente asociados al rendimiento forestal (Cuadro 4.6) y se encontró que el factor tratamiento silvícola presenta diferencias estadísticas altamente significativas (Pr>F=0.0091), por medio de la comparación de medias de Duncan se observó que el tratamiento Aclareo 1 es diferente respecto al tratamiento Aclareo 2, Corta de Liberación y Corta de Regeneración. El tratamiento Aclareo 1, mostró la media más alta, con 31.568 m³/hora, mientras que el Aclareo 2, Corta de Liberación y de Regeneración resultaron ser valores más bajos, con 22.418 m³/hora, 20.625 m³/hora y 16.764 m³/hora (Cuadro 4.7).

Lo anterior se puede deber a que las intensidades de corta son diferentes para cada tratamiento y cada anualidad, además de que cada tratamiento presenta árboles con edades, formas, tamaños y densidades diferentes (Reyes, 2009). En campo fue posible observar que conforme aumenta la densidad de la vegetación, aumenta la dificultad para maniobrar la masa forestal de las áreas de corta.

Cuadro 4.6 Análisis de datos factorial

Fuente	DF	Tipo I	Cuadrado de la media	Valor de F	Pr>F
A	3	2085.415299	695.138433	4.11	0.0091*
B	2	888.911302	444.455651	2.62	0.0785
C	2	1838.590553	919.295277	5.43	0.0061*
A*B	4	265.209651	66.302413	0.39	0.8141
A*C	6	801.176652	133.529442	0.79	0.5814
B*C	3	2515.776173	838.592058	4.95	0.0033*
A*B*C	2	543.111667	271.555833	1.60	0.2073

Fuente: Elaboración propia

Nota: DF= Grados de libertad, A= Tratamiento silvícola, B= Pendiente (%), C= Diámetro normal (cm), DF= Grados de libertad

*: Factores significativos

Cuadro 4.7 Comparación de medias de Duncan para el factor tratamiento silvícola

Agrupación de Duncan	Media (m ³ /hora)	N	Tratamiento silvícola
A	31.568	15	Aclareo 1
B	22.418	22	Aclareo 2
B	20.625	46	Corta de Liberación
B	16.764	23	Corta de Regeneración

Fuente: Elaboración propia

Nota: N= Número de datos

Para el factor pendiente, se muestra que no existen diferencias estadísticas significativas ($Pr>F= 0.0567$) (Cuadro 4.8), pero de acuerdo a la comparación de medias de Duncan se encontraron diferencias numéricas respecto de las medias, donde la pendiente de 50% presentó la media más alta con 27.405 m³/hora, mientras

que la pendiente de 30% y 10% resultaron ser valores más bajos, con 21.618 m³/hora y 20.834 m³/hora, respectivamente (Cuadro 4.8).

En campo fue posible observar que en áreas con pendiente alta se encontraban individuos de mejores dimensiones que en las partes bajas siendo diferente también el tratamiento silvícola de acuerdo a la condición del área de corta, el tamaño de los árboles y la forma, todo esto influir para que se obtengan rendimientos diferentes en cada sitio considerando que la pendiente es una de las variables de mayor influencia sobre el rendimiento (Mendoza, 2015).

Cuadro 4.8 Comparación de medias de Duncan para el factor pendiente

Agrupación de Duncan	Media (m³/hora)	N	Pendiente (%)
A	27.405	11	Pendiente 50%
A	21.618	26	Pendiente 30%
A	20.834	69	Pendiente 10%

Fuente: Elaboración propia

Nota: N= Número de datos

Para el factor diámetro normal promedio, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($Pr > F = 0.0001$). De acuerdo a la comparación de medias de Duncan se muestra que el diámetro promedio de 82.5 cm es diferente respecto a los otros diámetros (Cuadro 4.9). El diámetro promedio de 82.5 cm, mostró la media más alta, con 31.343 m³/hora, mientras que el diámetro promedio 57.5 cm y 32.5 cm resultaron ser valores más bajos, con 21.667 m³/hora y 18.305 m³/hora, respectivamente (Cuadro 4.9). Esto se presenta porque a mayores dimensiones, se obtienen mayores rendimientos, como mencionan Ambrosio y Tolosano (2007) que el rendimiento está en función de las dimensiones del árbol (diámetro y altura).

Cuadro 4.9 Comparación de medias de Duncan para factor diámetro promedio normal

Agrupación de Duncan	Media (m ³ /hora)	N	Diámetro normal promedio (cm)
A	31.343	14	82.5 cm
B	21.667	53	57.5 cm
B	18.305	39	32.5 cm

Fuente: Elaboración propia

Nota: N= Número de datos

La única interacción de factores que resultó significativa fue pendiente con diámetro normal promedio, donde se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($Pr > F = 0.0063$) (Cuadro 4.10). De acuerdo a la comparación de medias de Duncan se muestra que la media más alta fue de 57.3445 m³/hora correspondiente a una pendiente de 30%, con un diámetro promedio de 82.5 cm, mientras que las más bajas fueron de 17.4795 m³/hora y 18.9905 m³/hora, con una pendiente de 30% y diámetro promedio de 32.5 cm, y 50% con 32.5 cm, respectivamente (Cuadro 4.10).

En relación a lo anterior Zárate (2012) justifica que el rendimiento está en función de las dimensiones del árbol y de la fisiografía del terreno (expresada por el factor pendiente del terreno), mientras que Meza (2005) lo complementa agregando que la densidad de árboles y la especie también influyen.

Cuadro 4.10 Comparación de medias de Duncan para la interacción pendiente con diámetro normal promedio

Pendiente (%)	Diámetro normal (cm)	N	Media (m ³ /hora)	Desviación estándar
10	32.5	27	18.4479259	8.3547147
10	57.5	31	20.6329677	14.1631691
10	82.5	11	27.2556364	23.7189524
30	32.5	8	17.4795000	9.7057708
30	57.5	16	19.2206250	12.0526438
30*	82.5*	2	57.3445000	29.0783522
50	32.5	4	18.9905000	2.9584774
50	57.5	6	33.5320000	17.3483327
50	82.5	1	24.3010000	.

Fuente: Elaboración propia

Nota: N= Número de datos

V. CONCLUSIONES

El análisis de datos Stepwise determinó que los indicadores que se encuentran asociados con la operación de corte, y directamente con el rendimiento forestal, son la distancia recorrida entre árboles derribados, diámetro normal promedio, tratamiento silvícola y la pendiente.

En cuanto al diseño completamente al azar con arreglo factorial permitió definir que los indicadores mayormente relacionados con el rendimiento forestal fue el tratamiento silvícola, diámetro normal promedio, y en interacción factorial la pendiente con diámetro normal promedio.

Por medio de la prueba de medias de Duncan se identificó que, en cuanto a los tratamientos silvícolas aplicados, todos presentan diferencias, pero el Aclareo 1 fue el más significativo, el diámetro normal promedio resultó ser relevante por sus dimensiones, mientras que la interacción factorial pendiente con diámetro normal promedio se mostró significativa al presentar la media más alta.

Aunado a lo anterior, no se acepta la hipótesis nula dado que el tratamiento silvícola, distancia recorrida entre árboles derribados, diámetro normal promedio y en interacción factorial la pendiente con diámetro normal promedio fueron los indicadores que resultaron estar relacionados con la operación de corte del abastecimiento forestal en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

VI. RECOMENDACIONES

Considerar el periodo de verano e invierno con los análisis planteados en esta investigación, además considerar las variables que no se analizaron (edafológicas, climatológicas, geológicas) para tener una base de datos con más factores que permita determinar, cuáles influyen en la operación de corte y directamente con el rendimiento forestal, y permita hacer una comparación de ambos.

Es importante considerar que sea el mismo número de árboles apeados en cada tratamiento silvícola para que el número de interacciones resultantes del diseño factorial sea mayor y permita analizar otros factores diferentes a los que se obtuvieron en esta investigación.

VII. LITERATURA CITADA

- Aguirre, C. O.** 2015. Manejo Forestal en el siglo XXI. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Volumen (21), Pp 1-12.
- Ambrosio, T. Y y Tolosana, E. E.** 2007. El control de tiempos y rendimientos en los trabajos forestales. El programa de Kronos. Universidad Politecnica de Madrid. Num. 87. Pp-110
- Ambrosio, T. Y; Tolosana, E y Vignote, S.**1998. Rendimientos y costes de los aprovechamientos en claras sobre repoblaciones de Pino silvestre (*Pinus sylvestris*, L.). Tesis doctoral. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- André, P., Delisle, C.E y Revéret, J. P.** 2004. Environmental Assessment for Sustainable Development: Processes and Practice, Montreal, Presses Internationales Polytechniques, pp. 52, 54, 157.
- Anaya, H y Christiansen, P.** 1986. Aprovechamiento forestal: análisis de apeo y transporte. No. 76. 929039112X, 9789290391128. Editorial IICA. Pp-246.
- Bonilla, J.B.** 2004. Determinación de costos y rendimientos del proceso productivo en un vivero forestal de teca en la provincia de Chiriquí, Panamá. Tesis Bachiller. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Chiriquí, Panamá. Pp-137.
- Cándano, F.;** Vidal, A; Pinto, A., y Cardoso, C. 2004. Evaluación de tres métodos para el arrastre de madera en rodales naturales de *Pinus caribea var. caribea*. Revista Árvore. Vol. (28), No. 3. pp-23-33.
- Cárdenas, B. E.** 1980. Apuntes del curso de abastecimiento forestal. INF-SFF. Ciudad Guzmán, Jalisco, México. Pp-143.
- Colegio de Postgraduados.** 1990. Monitoreo Ambiental de Aprovechamiento Forestal en los Estados de Chihuahua y Durango, Análisis de Impacto Ambiental y Propuesta de Monitores. Instituto de Estudios, Investigaciones y Servicios AGRIPEFOR Chapingo, s.c.

- Colmex.** 2011. Desarrollo de indicadores ambientales a nivel local para la evaluación de impacto Ambiental: Caso Distrito Federal, Informe final, México.
- Contreras, F;** Cordero, W. y Fredericksen, T. S. 2001. Evaluación del aprovechamiento forestal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR) USAID. Santa Cruz, Bolivia. 43 p.
- Cordero, W;** Meza, A. 1993. Manual de Prácticas de Aprovechamiento Forestal Mejorado. Costa Rica, ITR. Pp-12.
- Dykstra, D. y** Heinrich, R. 1996. Técnicas de corta con motosierras. Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la madera. Tecnología de los Productos Forestales. Facultad de Agronomía. Pp- 15.
- Duek, J.** 1995. Métodos para la evaluación de impactos ambientales. Ecuador. Pp-79.
- García, E.** 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Primera edición. núm. 6. Pp-97.
- García, V. J;** Castillo, M. A; Ramírez, G. M. 2001. Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechhofer para selección de medias. Agrociencia. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. Vol.35, núm. 1. Pp. 79-86.
- Gayoso, J;** Acuña, M. 1999. Mejores Prácticas de Manejo Forestal. Universidad Austral de Chile. Guía. Valdivia. Pp-1-148.
- Guerrero, S. J.** 2015. Encuentro entre productores de resina de Pino del Sur de México: una mirada de reflexión y acción hacia el futuro. PRONATURA Sur, a.c., pp. 1-34.
- Gullison, N. y** Hardner, J. 1993. The effects of road design and harvest intensity on forest damage caused by selective logging: empirical results and a simulation model from the Bosque Chimanes, Bolivia. Forest Ecology and Management. Pp-59: 1-14.

- López**, S.E; Ambrosio, Y. T; Vignote, P. S. 2005. Tiempos y rendimientos de dos sistemas de aprovechamiento de madera de *Populus sp.* en Castilla-León (España). *Ciencia Forestal en México*.31(99): 73-91.
- Louman**, B. 2002. Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales. Comunidad de Arquitectura Americana. Manual. Pp-36
Recuperado de: http://1999.arqa.com/informa/imp_amb.htm
- Luna**, B. L. 2011. Impacto de los aprovechamientos forestales en el arbolado residual y el mantillo forestal en Xiacui, Ixtlán, Oaxaca. Tesis de Licenciatura, Universidad de la Sierra Juárez. 69 p.
- Mendoza**, H.M. 2015. Incremento diamétrico de cinco especies arbóreas con potencial maderable del bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz. Tesis. Universidad Veracruzana, Instituto de Investigaciones Forestales. Pp-73.
- Meza**, M. A. 2004. La operación de corta en el aprovechamiento de plantaciones forestales. *Revista Forestal Mesoamericana*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Kurú, Costa Rica. 2(4). Pp-3
- Muñoz**, I. 2010. Impacto ambiental de la extracción forestal en los bosques del centro poblado Maynas, Rio Momón, Loreto-Perú. Tesis. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ciencias Forestales. Pp-61.
- Nájera**, J. 2010. Evaluación del proceso productivo maderable en la región de el Salto, Durango, México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León, El Salto, Durango. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/2211/6/1080194456.pdf>
- Nájera**, L. J.A; Aguirre, C. O.A; Treviño, G. E.J; Jiménez, P. J; Jurado, y. E; Corral, R. J.J y Vargas, L. B. 2012. Impactos de las Operaciones Forestales de Derribo y Arrastre en El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Distrito Federal, México. Vol. (III). Núm. 10.15 p.

- Nájera**, L. A; Aguirre, C. O; Treviño, G. E; Jiménez, P.J y Jurado, Y. E. 2011. Tiempos y rendimientos del aprovechamiento forestal en El Salto, Durango, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17 (1). Pp-11.
- Novo**, L. A. 2013. Los sistemas de aprovechamiento forestal. Ingeniería Forestal y del Medio Natural. Universidad de Valladolid. Pp-24 Obtenido de: <https://www.yumpu.com/es/document/view/10690769/sistemas-de-aprovechamiento-forestal-maderero>
- Otzen**, T. y Manterola, C. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. Universidad de Tarapacá, Arica, Chile. Int. J. Morphol. 35 (1): 227-232. Pp-6.
- Perevochtchikova**, M. 2013. La evaluación del impacto Ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. Gestión y Política Pública, Centro de Investigación y Docencia Económicas, A.C. Vol., 22, Distrito Federal, México. pp. 283-312.
- Peterson**, E. B., Y. H. Chan, N. M Peterson, G. A. Constable, R. B. Caton, C. S. Davis, R. R. Wallace y G. A. Yarranton. 1987. Cumulative Effects Assessment in Canada: An Agenda for Action and Research, Canada, CEARC, 63 p.
- Poschen**, P. 1993. Forestry, a safe and healthy profession? Unasylva. 44 (172): 3-12. Statistical Analysis System (SAS). 2004. SAS/STAT 9.1.2 User's Guide: SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 1028 p.
- Programa de Manejo Forestal** Nivel Avanzado para el Aprovechamiento de Recursos Forestales Maderables. Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Pp-1072.
- Reyes**, R. J. 2009. Aprovechamiento de productos forestales; Factores que se toman en cuenta en las operaciones del aprovechamiento. Monografía. Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes. pp.1-49.
- Santiago**, P. P; Guevara, S. C y Espinoza, L. M. 2013. Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. Proyecto. Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER). Perú. Pp-30.

- Santos**, A. J. 2005. Evaluación de daños post-aprovechamiento mejorado del bosque tropical húmedo, en la finca Susun, comunidad de San Martín, Siuna, Raan, Nicaragua. Trabajo de Diploma. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua. Pp-52.
- Seas**, S. 2016. Impactos en superficie de cobertura vegetal por tala, arrastre, acopio de trozas y apertura de caminos forestales, Iñapari- madre de Dios. Tesis. Universidad Nacional del Centro del Perú, HUANCAYO. Pp-79.
- Shah**, R. 2004. CSD Indicators of Sustainable Development: Recent Developments and Activities, en Assessment of Sustainability Indicators (ASI) ASCOPE/UNEO/IHDP/EEA/Project.
- Tolosana**, E.E. 1999. El aprovechamiento forestal mecanizado en las cortas de mejora de *Pinus sylvestris* L. Modelos de tiempos, rendimientos y costes y estudio de sus efectos ambientales. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Pp-414.
- Toledo**, M.; Fredericksen, T.; Licona, J.C. y Mostacedo, B. 2001. Impactos del aprovechamiento forestal en la flora de un bosque semideciduo pluviestacional de Bolivia. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Documento técnico 106. Santa Cruz Bolivia. 23 p.
- UND**. 2005. Integrated Water Resources Management Plans: Training Manual and Operational Guide, Cap-Nat, Global Water Partnership.
- Villagómez**, L. M.A. 2011. Selección de maquinaria para la operación de derribo en bosques de coníferas. Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC, A. C). Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Vol. (II). Num.5. pp-14.
- Yilmaz**, M. y Akay, A. 2008. Stand damage of a selection cutting system in a uneven aged mixed forest of Cimendagi in Kahramanmaras-Turkey. International Journal of Natural Engineering Sciences. 2(1): 77-82.

- Zárate**, C. R. D. 2012. Propuesta Metodológica para Análisis de costos en Abastecimiento Forestal. Tesis. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Texcoco. Estado de México. Pp-189.
- Zaragoza**, V. E. 2011. Abastecimiento Forestal. Antología. Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza. Pp-107.
- Velasco**, R. V; Martínez, O. V; Roiz, H. J; Huazano, G. F y Nieves, R. A. 2002. Muestreo y Tamaño de Muestra, una guía práctica para personal de salud que realiza investigación. Torreón, Coahuila, México. Primera edición.
- Velázquez**, A; Torres, A; Bocco, G. 2003. Las enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales. INE-SEMARNAT, México.