

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL EN LA ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DEL BOSQUE PRODUCTIVO DE LA COMUNIDAD NATIVA CHAMIRIARI, PERÚ

Caballero Miranda, Melina Lisbet^{1*}, Caballero Salas Ruben Gelacio^{2**}, Baltazar Ruiz Milciades Anibal^{3***}, LLallico Manzanedo, Fortunata Judith^{4****}

* Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú

** Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú

*** Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú

**** Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú

RESUMEN

La comunidad nativa de Chamiriari ubicada en la provincia de Satipo – Junín, Perú, tiene una superficie de 8283,30 ha. con una diversidad de recursos naturales distribuidos en cuatro zonas de vida. Para evaluar los impactos del aprovechamiento maderable se instalaron parcelas de muestreo temporal, 4 para árboles mayores de 10,00 cm y 25 para árboles menores de 9,9 cm de DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) divididas en categorías de tamaño: A, B, C, D y E. Si bien en otros países se han realizado diversos estudios sobre las consecuencias ecológicas del aprovechamiento forestal, estas han recibido muy poca atención en el Perú. Esta es una zona maderera de importancia económica, y también ecológica y social. Es imprescindible contar con el reemplazo necesario en árboles para mantener el equilibrio ecológico de la zona y para proteger a la población nativa, lo que redundará en un mayor aprovechamiento comercial de la madera que se explote. Es en este contexto que se realizó un estudio estadístico de la situación de las especies madereras en esta zona. El análisis realizado permitirá explotar de manera racional los recursos maderables de la zona, lo que propiciará optimizar las ganancias económicas, minimizar los daños ecológicos y mejorar los estándares de vida de la comunidad nativa.

PALABRAS CLAVES: Aprovechamiento forestal, composición florística, prueba chi-cuadrado de Pearson, tabla de contingencia, análisis de varianza, inferencia estadística.

MSC: 62P20, 91B76, 97K80, 97M40.

ABSTRACT

The native community of Chamiriari located in the county of Satipo - Junín, Peru, has a surface of 8283.30 hectares, where there is a diversity of natural resources distributed in four areas of life. To evaluate the impacts of the use of timbers we settled parcels of temporary sampling, 4 for trees bigger than 10.00 cm and 25 for trees smaller than 9.9 cm of DHC (Diameter to the Height of the Chest) which were divided in categories of size in: B, C, D and E. Although in other countries they have been carried out diverse studies on the ecological consequences of the forest use, this subject has received very little attention in Peru. This is a timber area of economic, and also ecological and social importance. It is indispensable to have the necessary substitution in trees to maintain the ecological balance of the area and to protect the native population, what will redound in a bigger commercial use of the wood that is developed. It is in this context that it was carried out a statistical study of the situation of the timber species in this area. The analysis we carried out will allow to develop the wood of the area in a more rational way, such that maximizing the economic earnings, minimizing the ecological damages and to improve the native community's standards of life.

KEYWORDS: Forest use, floristic composition, Pearson's chi-squared test, contingency table, analysis of variance, statistical inference.

1. INTRODUCCIÓN

Según el Fondo de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación ([7]), existen en el mundo aproximadamente 4000 millones de hectáreas de bosques, de las cuales 50% corresponden a bosques tropicales naturales ubicados mayormente en América del Sur, África y Asia. Sólo la mitad de estos son accesibles, aproximadamente 1000 millones de hectáreas. En América Latina, es Brasil el país que cuenta con la mayor extensión de bosques naturales aprovechables con un total de 300 millones de hectáreas luego le siguen Perú, Colombia y Bolivia con más de 75, 60, y 50 millones de hectáreas, respectivamente. Perú ocupa el segundo lugar, lo

¹Email: mcaballero@uncp.edu.pe

cual representa un enorme y valioso potencial que aprovechado adecuadamente puede significar un aporte valioso al desarrollo socioeconómico del país. Sin embargo y como es notorio, el recurso forestal peruano no ha recibido la debida importancia en lo referente a su manejo, administración y protección. Por el contrario, en las últimas décadas, tal como sucede en toda la región tropical o subtropical, el bosque natural es víctima de un acelerado proceso de destrucción indiscriminada por medio de talas y quemas, consecuencia de la agricultura nómada.

Por otro lado existe un gran potencial maderero en la zona. Raez ([14]) menciona que en la región de Junín se producen maderas de tornillo, roble corriente, eucalipto, cedro; en Ucayali: tornillo, lupuna, catahua, cumala, cedro, caoba y en San Martín: tornillo, higuera, caoba, ishingó Asimismo, las especies forestales más conocidas que llegan a Lima procedente de Junín son: roble corriente, cedro, congona, diablo fuerte y otras.

Reátegui y Martínez ([15]) sobre el potencial maderero de Satipo, registraron a partir de árboles iguales o mayores de 25 cm de DAP, 24 especies distribuidas en 137 árboles/ha. y un volumen de 171,355 m³/ha.. Son árboles muy bien conformados en estructura fisonómica demostrado por su volumen: palo leche, roble blanco, anonilla y roble colorado que en conjunto estas especies (17% del total registrado) superan el 47% del volumen mencionado. Del total de especies solo alrededor de 800 han sido botánicamente identificadas, esta insuficiencia resulta un serio problema para el manejo forestal, solo se aprovecha en forma más o menos intensiva un 10% del total de especies identificadas mediante extracción selectiva. Asimismo, la diversidad florística del bosque natural es alta, a nivel de zonas o regiones es menos heterogénea y en particular la composición volumétrica es más simple; según los inventarios de 20 a 25 especies que representan el 40% o 50% del volumen aprovechable por hectárea y unas 50 especies representan más del 70% del volumen total aprovechable; sin embargo, la extracción forestal está concentrada solo en 10 especies.

Al respecto, Sagástegui y otros ([16]) afirman que en el Perú la complejidad de las cadenas andinas genera una sucesión de pisos ecológicos desde el mar tropical, el desierto, el bosque seco, los bosques templados, la jalca, los valles cálidos (yunga), la ceja de selva (bosques de neblina) y los bosques tropicales amazónicos depositarios de una composición florística muy rica que a la actualidad ([20]) estaría representada por aproximadamente 17144 especies entre gimnospermas y angiospermas distribuidas en 2458 géneros y 224 familias.

Las condiciones topográficas o fisiográficas en que se desarrolla el bosque húmedo tropical (región de la selva amazónica) son también muy variadas; comienza en las partes altas de la cordillera oriental de los Andes a 3800 metros sobre el nivel del mar (msnm), en una zona montañosa y agreste (ceja de selva) para luego bajar a una zona también accidentada, pero con vegetación más alta y vigorosa, entre 700 a 2000 msnm (selva alta), para finalmente alcanzar una zona de ondulaciones suaves o planicies del llano amazónico (selva baja), a lo largo y ancho de todas estas subregiones, se presentan ecosistemas y asociaciones muy variadas que van desde los pantanos o aguajales en la selva baja, hasta los bosques de neblina en la ceja de selva, [15].

En ese contexto se afirma la existencia de más de 2500 especies forestales en la Amazonía y solamente se aprovecha aproximadamente entre 40 a 50 especies según la zona que significa solo el 2% del total, se ubica en la Selva Central el número de especies extraídas más alto, que agrupa diferentes especies con el nombre comercial de "roble corriente", [21]. En Satipo, hace más de 60 años se inició la explotación de las madereras, primero de las especies finas o de mayor valor comercial, de los bosques más cercanos a la ciudad; ahora las empresas madereras cada vez que operan a distancias mayores a 120 km de Satipo aprovechan especies de menor valor comercial (robles), es más, la mayoría de plantas de transformación están ubicándose cerca de la ciudad de Atalaya o en comunidades con bosques productivos favorecidos de la carretera Puerto Ocopa – Atalaya ([12]).

A nivel de América, el bosque húmedo tropical posee una gran riqueza florística, se encuentra un promedio de 150 especies/ha. con DAP \geq 10 cm. En cuanto a la estructura, los bosques húmedos tropicales intervenidos están constituidos por individuos de varios tamaños, donde prevalecen los de tamaño pequeño y esta cuantía va en descenso hasta los árboles más grandes, tal que la distribución diamétrica de estos tiene forma de curva decreciente denominada J invertida ([5]).

La comunidad nativa de Chamiriari ubicada en la provincia de Satipo – Junín, ocupa una superficie de 828330 ha. con una diversidad de recursos naturales distribuidos en cuatro zonas de vida ([9][17]), más de 2000 ha. de bosques en el lote territorial “B” son aprovechados mediante permisos forestales ([17]) con un volumen maderable de 36363 m³ correspondiente a 25 especies forestales. Las operaciones de aprovechamiento se realizaron en cumplimiento al Plan de Manejo Forestal aprobado el año 2002. En el año 2002 se inició el primer programa operativo anual (POA I) y en el año 2003 el POA II y el 2004 el POA III. Luego, se suspendieron las actividades por incumplimiento del plan de aprovechamiento forestal; se observa impactos en los sistemas viales, extracción maderable sin respetar el POA, daños de la regeneración natural e incumplimiento del plan silvicultural. Las actividades de extracción forestal se renuevan el año 2008 con el POA IV y continúa en el año 2009 el POA V y finalmente el POA VI de acuerdo a los términos de referencia de la Resolución Jefatural N° 232-AG ([9]). Véase la Figura 1 con el mapa ecológico de la comunidad nativa de Chamiriari.

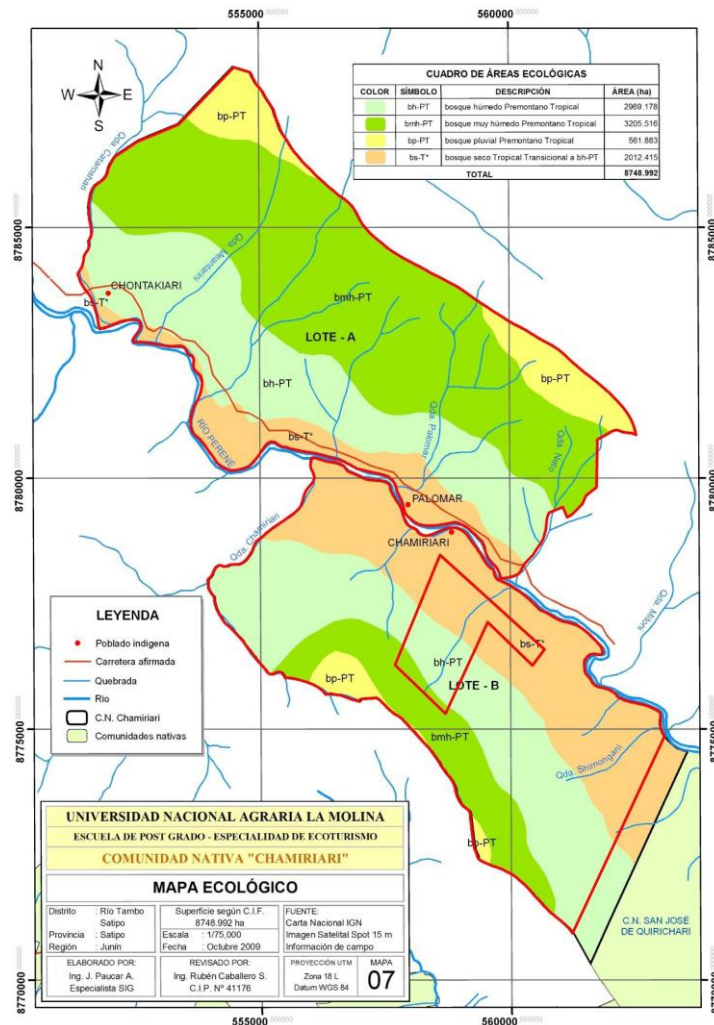


Figura 1. Mapa ecológico de la comunidad nativa de Chamiriari.

En los programas operativos del Lote B, año 2002, 2003 y 2004 se proyectó la extracción forestal de especies valiosas como caoba (*Swieteniamacrophylla*), ishpingo (*Amburanacearensis*) y tornillo (*Cedrelingacatenaeformis*) con volúmenes que superaban los 9000 a 10000 m³ por POA; sin embargo, debido a la extracción ilegal se extinguieron de forma gradual las especies valiosas y se incrementó la extracción de variedades de menor valor comercial, como los denominados “robles” que comprende varias especies no identificadas y de menor valor comercial ([17]).

No existe evaluaciones después del aprovechamiento forestal sobre la estructura y composición arbórea de la comunidad nativa Chamiriari; existen tres trabajos de evaluación de la regeneración natural de tres especies importantes como *Myroxylombalsamum*, *Clarisiaracemosa* y *Brosimunalic astrum* ([2][3][4]) en diferentes áreas de los POAs del Lote territorial B que reportan mínima y preocupante existencia de fustales y remanentes. Asimismo, en [9] se evalúa los recursos forestales y determina la existencia de más de 32 especies maderables y 28 especies nativas.

Son pocas las investigaciones que han medido efectos del aprovechamiento forestal en el Perú, es urgente documentar dichos efectos en la estructura y composición del bosque ([1]). Las diferentes operaciones de aprovechamiento forestal causan varios efectos en el bosque remanente, graves o menores, con dependencia de la intensidad de la explotación. Dichos efectos pueden incluir cambios en las condiciones edáficas, pérdida de árboles semilleros, apertura del dosel o claros, alteraciones en la estructura y composición florística, daños a árboles remanentes, erosión de suelos, disminución de la cobertura boscosa, contaminación de ríos, disminución de la vida silvestre y alteración de hábitats e incluso el impacto socioeconómico a la población local indígena que desconoce las alteraciones por empresas madereras. Prácticamente no existen investigaciones sobre el desarrollo a largo plazo de los bosques bajo corta selectiva. Adicionalmente, los efectos del aprovechamiento sobre composición florística y

biodiversidad de los bosques están casi sin investigar.

Dentro del marco de la planificación forestal y al estar en peligro la recuperación del bosque intervenido, es de suma importancia la evaluación de los impactos del aprovechamiento forestal en la estructura y composición florística del bosque productivo de la comunidad nativa Chamiriari, para contribuir con información de la situación del aprovechamiento forestal que permita un manejo sostenible del bosque ([19]) y así aportar en la toma de decisiones en el desarrollo de técnicas eficientes de administración forestal con participación de la población local.

Por las razones mencionadas se desarrolló el trabajo de investigación en el bosque de aprovechamiento maderable de la comunidad nativa Chamiriari – Lote B, con los siguientes objetivos: evaluar los impactos del aprovechamiento maderable en la abundancia, frecuencia y dominancia de árboles mayores de 10 cm de diámetro de la PCA 2004 y analizar la estructura y composición de la vegetación arbórea menor de 9,9 cm de diámetro después del aprovechamiento forestal, en relación con la formación de “claros” o “disturbios”. Esta investigación se realizó con el auxilio de métodos de inferencia estadística, especialmente tablas de contingencia.

El artículo se divide según la estructura siguiente, continúa con la Sección 2 que explica las condiciones fundamentales en que se basa el análisis realizado. La Sección 3 contiene los resultados alcanzados en el estudio. En la Sección 4 se dan las conclusiones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección explica los detalles iniciales del estudio realizado y las herramientas estadísticas utilizadas.

Para desarrollar la investigación se realizó la recopilación de información primaria y secundaria; luego, para la toma de datos de campo, previamente se estratificó el bosque productivo de la parcela de corta anual (PCA) 2004 que forma parte de la división administrativa del Plan General de Manejo Forestal de la comunidad nativa de Chamiriari – Lote B en dos pisos altitudinales, colina baja y alta, correspondiente a dos zonas de vida de la mencionada PCA (bosque seco transicional a bosque húmedo tropical y bosque húmedo premontano tropical). Se establecieron dos parcelas de muestreo temporal que tomó como referencia la metodología de Toledo y otros ([19]) y Phillips y otros ([13]).

La población la constituye 37287 ha. de bosque con recursos forestales maderables ubicado en el Lote B–Sector Chamiriari (PCA 2004). Se tomaron dos muestras de 100mx100m (1 ha.) por tipo de bosque, 2 ha. de bosque intervenido más 2 ha. de bosque no intervenido, cada muestra con 2 sub-parcelas de muestreo de 50mx20m seleccionadas para la evaluación de especies arbóreas clasificadas en 2 categorías de tamaño de árboles, mayores de 10 cm de diámetro. Para la evaluación de los disturbios, las sub-parcelas de forma rectangular y de 10m x10m (0,10 hectárea) fueron en total 50; diseñadas para evaluar los árboles menores de 9,9 cm de diámetro hasta menores de 2 m de altura coincidente con la metodología de Toledo y otros ([10][19]).

Para el presente estudio se contó con un mapa cuadrículado de la zona que se muestra en la Figura 1 que habitualmente se utiliza para representar las diferentes parcelas. En el terreno existen señales que identifican de qué parcela se trata. Dentro del mapa se seleccionaron las parcelas a estudiar mediante muestreo aleatorio estratificado ([22]). Los autores se percataron de seleccionar aleatoriamente las parcelas teniendo en cuenta las diferentes zonas que se deseaban estudiar, que son las de bosque intervenido, bosque no intervenido, colina baja, colina alta, entre otros.

En el muestreo aleatorio estratificado aplicado en el estudio por cada estrato se aplicó un muestreo aleatorio simple.

O sea, según este tipo de muestreo, si se divide la población en k estratos de tamaños N_1, N_2, \dots, N_k tal que $N = N_1 + N_2 + \dots + N_k$, por cada estrato se escogen muestras de tamaño n_1, n_2, \dots, n_k de manera que el tamaño total de la muestra sea igual a $n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$. Se utilizó la fórmula $n_i = n \cdot \frac{N_i}{N}$ para determinar la cantidad de parcelas que se estudian por cada zona. Para la selección del tamaño de muestra se utilizó la fórmula siguiente:

$$n = \frac{N K^2 P Q}{e^2(N - 1) + K^2 P Q} \quad (1)$$

Donde:

N: tamaño de la población.

Z: constante de acuerdo al nivel de confianza (Para un nivel de confianza del 95%, $Z=1,96$)

p: proporción de individuos que en la población poseen la característica de estudio = 0,5

q: proporción de individuos que en la población no poseen la característica de estudio = 0.5
 e: error máximo permisible (precisión) = 5% = 0,05
 n: tamaño de muestra.

La estimación de la varianza en un muestreo aleatorio estratificado se basa en la fórmula siguiente:

$$\hat{S}_i^2 = \frac{1}{n_i-1} \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \hat{X}_i)^2 \quad (2)$$

Donde: $\hat{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}$,

X_{ij} es el resultado de la medición j-ésima de la variable X en el estrato i-ésimo.

Para evaluar los impactos del aprovechamiento maderable sobre la abundancia, frecuencia y dominancia, se tomó como referencia la metodología de Toledo y otros ([19]), previamente se revisó información primaria y secundaria; luego se seleccionaron parcelas de muestreo temporal (PMT) de 100mx100m, donde se instalaron sub-parcelas las que fueron categorizadas según el tamaño de las plantas (A, B, C, D y E).

En este párrafo se explica brevemente los métodos de parcelas de muestreo, uno de ellos es el método de parcelas de muestreo permanente (PMP) donde la misma parcela se mide en diferentes momentos para diferentes variables dasométricas. De este método se obtiene una serie de datos que miden el crecimiento y evolución de los árboles dentro de la parcela, es muy exacto, pero demanda del almacenamiento de más datos y mayor trabajo de investigación dentro del bosque. Un método menos exacto y a su vez menos costoso es el de parcelas de muestreo temporal (PMT). Las parcelas temporales se utilizan para estudiar las especies del ámbito geográfico que se considera, se hacen mediciones en masa de todas las edades, calidades de la estación y densidades, y se inventarían una sola vez. Ellos representan conjuntos de estados diferentes de la masa que se miden puntualmente.

Para el primer objetivo, se utilizaron las sub-parcelas de las categorías A y B y para evaluar el impacto sobre la estructura y composición del soto bosque arbóreo de 9,9 cm de DAP hasta árboles < 5 cm DAP < 2 m altura, se utilizaron las sub-parcelas dimensionadas de las categorías C, D y E. Las categorías, dimensiones y otras características se detallan en la siguiente tabla:

Categoría	Dimensiones de sub-parcela	Tamaño de planta	Número de muestras	Tamaño de la muestra
A	20m x50m	20 cm DAP	4	0,4 ha.
B	20m x25m	10 – 19,9 cm DAP	4	0,2 ha.
C	10m x10m	5 – 9,9 cm DAP	4	0,04 ha.
D	10mx5m	< 5 cm DAP>2 m altura	4	0,02 ha.
E	04 mx04 m	< 5 cm DAP< 2 m altura	4	64 m ²

Tabla 1. Categorías, tamaño de sub-parcelas y otras características.

Se seleccionó la parcela de corta anual 2004 de una superficie de 372,86 ha., aprovechada parcialmente, con base en la información secundaria del POA como informes de actividades de la PCA, mapas de división administrativa de la PCA, de dispersión de especies, de titulación de la comunidad, de división administrativa del nuevo Plan de Manejo Forestal y PCA-IC (año 2015), aprobados por el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR) e imágenes del Sistema de Información Geográfica (SIG) versión 2012.

La delimitación de las parcelas de investigación consistió en la división del área de la parcela de corta anual (PCA) 2004 en parcelas cuadradas de 100x100m previa estratificación en piso altitudinal A y B–colina baja y alta respectivamente, que tiene en cuenta las características topográficas, pendiente, áreas intervenidas y pisos ecológicos según al mapa ecológico, elaborado por el SERFOR ([17]). Luego, se seleccionaron al azar cuatro parcelas de muestreo de 1,0 ha. (100mx100m), dos por piso altitudinal y tipo de bosque (intervenido y no intervenido), una parcela de “bosque intervenido” y otra de bosque “no intervenido” con características de las Parcelas de Muestreo Temporal (PMT). Luego, en cada PMT se demarcaron 2 sub-parcelas de 20mx50m y otras dos para las 4 categorías adicionales del estudio, coincidente con la metodología de Toledo y otros ([19]).

Se procedió con el inventario de especies forestales de cada sub-parcela seleccionada, la recopilación de información cualitativa y cuantitativa, como fichaje de especies, cantidad, diámetro, altura comercial y total. Se tomaron datos de los individuos de importancia maderable, desde la categoría menores de 2 m de altura y menores de 5 cm de DAP hasta individuos > 20 cm DAP. En las sub parcelas cuadradas de 4m x 4m se evaluaron los individuos menores de 5 cm de DAP y menores de 2 m de altura.

Para determinar el efecto del aprovechamiento maderable en la estructura y composición del soto bosque arbóreo, segundo objetivo, se siguieron los mismos pasos de la metodología del Consorcio Museo/CIMAE/Missouri citado por Toledo y otros ([19]), en este caso, se establecieron 50 sub-parcelas de 10m x10m con las características de las categorías C, D y E por tipo de bosque: 25 sub-parcelas del bosque “intervenido” y 25 sub-parcelas del bosque “no intervenido”, elegidas al azar y delimitadas con base en el mapeo de la información cartográfica del SIG. Las características se detallan en la siguiente tabla:

Categoría	Tamaño de sub-parcela	Tamaño de plantas	Número de muestras	Tamaño de la muestra
C	10m x10m	5–9,9 cm DAP	25	0,250 ha.
D	10m x5m	<5 cm DAP>2m altura	25	0,125 ha.
E	4m x4m	<5cm DAP<2 m altura	25	0,040 ha.

Tabla 2. Categorías C, D, E, tamaño de sub-parcelas y características de las plantas.

Se calificó como disturbio, la apertura de un claro o claros en el bosque de aprovechamiento, caída natural de árboles y los claros originados por actividades de aprovechamiento forestal tales como: construcción de caminos, patios de trozas, campamento y tala de árboles. Luego, se realizó la evaluación en las tres categorías de sub-parcelas (C, D y E) de las cinco instaladas, en total se evaluaron 25 sub-parcelas de 10m x 10m para el “bosque intervenido” y 25 sub-parcelas de 10m x10m- “bosque no intervenido” se consideran las principales variables dasométricas como altura y diámetro. Las sub-parcelas se seleccionaron según las características de distribución, topográficas y actividades de extracción forestal del POA 2004 previa estratificación por tipo de bosque. Para analizar los efectos del aprovechamiento forestal, los disturbios fueron clasificados en siete categorías:

Categoría	Tipo de disturbio	Características
I	Sin disturbios	Sin apertura de claro.
II	Disturbio parcial natural	Claro menor del 50% del bosque por caída natural de árboles.
III	Disturbio total natural	Claro mayor del 50% del bosque por caída natural de árboles.
IV	Disturbio parcial por camino	Claro por construcción de camino de aprovechamiento forestal, menor del 50% de superficie del bosque.
V	Disturbio total por camino	Claro por construcción de camino de aprovechamiento forestal, mayor del 50% de superficie del bosque.
VI	Disturbio parcial por tala	Claro por tala de árboles, menor del 50% de superficie del bosque.
VII	Disturbio total por tala	Claro por tala de árboles, mayor del 50% de superficie del bosque.

Tabla 3. Categorías I-VII, tipo de disturbios y características.

Los resultados obtenidos para ambos objetivos específicos fueron comparados con un “bosque no intervenido” ubicado en la misma parcela de corta anual seleccionada; asimismo, las parcelas y sub-parcelas fueron evaluadas de la misma manera que el bosque intervenido.

Para evaluar los efectos del aprovechamiento maderable en la abundancia, frecuencia y dominancia de los árboles mayores de 10 cm de DAP del bosque productivo de la comunidad nativa de Chamiriari – PCA 2004 y menores de 9,90 cm de DAP, los datos dasonómicos por tipo de bosque, “intervenido” y “no intervenido” fueron procesados utilizando el programa Microsoft Excel 2010 y para el análisis de la variancia de los tratamientos se utilizó el Programa SPSS 23 y MINITAB.

Recuérdese que el análisis de variancia (ANOVA) de un factor es un método estadístico para examinar las medias de tres o más grupos. Por tanto, la prueba de hipótesis nula es $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ y la hipótesis alternativa es que no todas las medias son iguales ([8]). En este caso se calcula si hay diferencia de medias entre dos tipos de parcelas, que son para bosques intervenidos y no intervenidos. Esto da una medida del daño que realiza el ser humano en la zona boscosa de esta región.

Si n_i es el número de observaciones por tipo de bosque, en este caso para bosques intervenidos ($i = 1$) y bosques no intervenidos ($i = 2$); N es el número total de observaciones; Y_{ij} es la j -ésima observación del i -ésimo tipo de bosque; \bar{Y}_i es la media de la muestra del i -ésimo tipo de bosque; mientras que \bar{Y} es la media de todas las observaciones. Se calcula la suma de cuadrados como se indica a continuación:

$$\sum_i \sum_j (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = N \sum_i (Y_i - \bar{Y}_i)^2 + \sum_i \sum_j (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \quad (3)$$

Esta ecuación se reescribe frecuentemente como:

$$SC(\text{Total}) = SC(\text{Factor}) + SC(\text{Error}) \quad (4)$$

Donde:

SC(Factor) es un número relacionado con la varianza que mide la variación debida al "factor", "tratamiento" o tipo de situación estudiado.

SC(Error): es un número relacionado con la varianza que mide la variación dentro de cada "factor", "tratamiento" o tipo de situación.

Los grados de libertad se calculan por la fórmula:

$$GL_{Total} = N-1, GL_{error} = N-k, GL_{factor} = k-1;$$

donde k es el número de niveles y N es el número total de observaciones.

Luego se calculan los cuadrados medios por las fórmulas: $T = \frac{SC(Factor)}{k-1}$ y $E = \frac{SC(Error)}{N-k}$ y por último se tiene el

valor de la razón F que se calcula como: $F = \frac{T}{E}$ que se compara con la distribución F correspondiente, para los grados de libertad calculados anteriormente.

Si el valor p es pequeño comparado con los valores de la distribución F se rechazaría la hipótesis nula de igualdad de las medias.

Para determinar el efecto del aprovechamiento forestal en la estructura y composición del soto bosque arbóreo, árboles menores de 9,9 cm de DAP, después del aprovechamiento forestal, en relación con la formación de claros o disturbios, se analizaron los siete tipos de disturbios y tres categorías de tamaño de plantas C, D y E que corresponde a la vegetación de mayor interés para el manejo forestal sostenible. Los resultados se representaron mediante tablas de contingencia y se procesaron con ayuda de la prueba chi-cuadrado de Pearson ([6][11][18]), como se ve en la Ecuación 5.

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(observada_i - teórica_i)^2}{teórica_i} \quad (5)$$

El criterio de decisión se toma como: No se rechaza H_0 cuando $\chi^2 < \chi^2_t(r-1)(k-1)$, en caso contrario se rechaza. Donde r es el número de filas de la tabla de contingencia, k es el número de columnas y t es el nivel de significación. χ^2_t es el percentil de la chi-cuadrado. Este tipo de prueba estadística se utilizó para comparar los tipos de disturbio dentro del bosque (sin disturbio, claro parcial natural, claro total natural y claro parcial por tala) con la categoría de los tres tamaños de las especies de árboles (C, D y E). El propósito es determinar si existe relación entre los espacios vacíos que se encuentran en el bosque y el tipo de árbol, lo que indica si los claros encontrados se relacionan con la intervención humana o se producen de manera natural.

Finalmente, para interpretar la estructura y la abundancia de la vegetación menor de 9,9 cm de DAP con respecto al aprovechamiento maderable por categoría de tamaño, se ordenaron las especies y familias más importantes en una tabla de frecuencia; la información se procesó en una tabla comparativa de la formación de claros y disturbios para demostrar las causas del impacto del aprovechamiento forestal según los objetivos de la investigación. Es necesario enfatizar que las muestras de parcelas constituyen un porcentaje significativo de la cantidad total de árboles. Este es un muestreo aleatorio estratificado.

3. RESULTADOS

Esta sección contiene los resultados más trascendentales del análisis realizado, en correspondencia con la metodología descrita en la sección anterior.

Algunos resultados que se obtuvieron utilizando la ANOVA son los siguientes:

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Piso altitudinal (A:colina alta y B: colina baja)	0,345	1	0,345	1,671	0,199
Tipo de bosque	0,480	1	0,480	2,329	0,130
Piso altitudinal * Tipo de bosque	0,057	1	0,057	0,275	0,601
Error	20,625	100	0,206		
Total corregido	21,424	103			

Tabla 4. Análisis de varianza de la abundancia de especies por tipo de bosque (**intervenido y no intervenido**) y piso altitudinal, categoría A: árboles > 20 cm de DAP.

Como se aprecia de la Tabla 4 se tiene, valores de significación mayores a 0,05, por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula. Este resultado se repite en la generalidad de los demás estudios realizados usando este método.

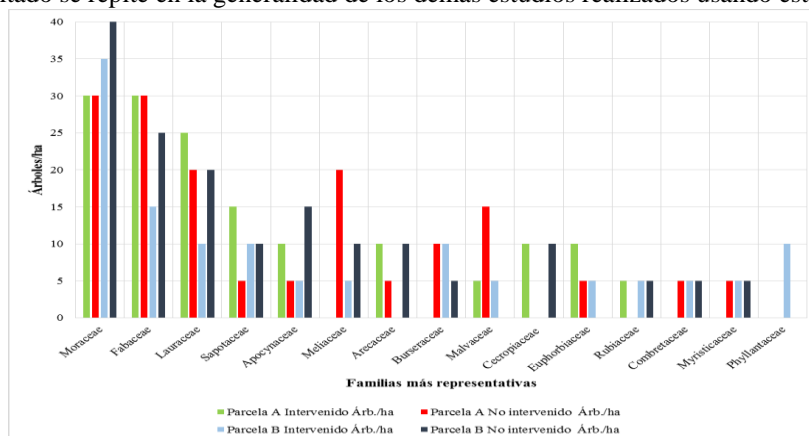


Figura 2. Abundancia de familias más representativas de la categoría A, árboles >20 cm de DAP del bosque intervenido y no intervenido, Colina alta y Colina baja.

Se obtuvieron las tablas de contingencia donde se compararon pares de variables en cuanto a la frecuencia de casos encontrados en el estudio realizado y se procesaron con la prueba chi-cuadrado de Pearson, con la hipótesis usual:

H₀: No hay diferencia significativa entre las dos variables que se miden, por filas y por columnas.

H_a: Hay diferencia significativa entre las dos variables que se miden, por filas y por columnas.

No se rechaza H₀ cuando $\chi^2 < \chi^2_{\alpha}(r - 1)(k - 1)$ y se rechaza en caso contrario.

Específicamente en la Tablas 5 se resumen los resultados estadísticos obtenidos de la prueba chi-cuadrado de Pearson.

Resultados de las pruebas Chi-cuadrado de Pearson	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Categoría de árboles > de 20 cm DAP por tipo de bosque (intervenido y no intervenido) – colina alta.-.	44,000	40	0,306
Categoría A (árboles > de 20 cm DAP) por tipo de bosque (intervenido y no intervenido) – colina baja.	36,563	42	0,708
Categoría B (árboles de 10-20cm DAP) por tipo de bosque (intervenido y no intervenido) – Colina alta.	41,704	46	0,653
Categoría B (árboles de 10-20 cm DAP) por tipo de bosque – Colina baja.	37,993	46	0,793
Bosque Intervenido.	16,555	12	0,167
Bosque no Intervenido.	4,121	6	0,660

Tabla 5. Prueba de Chi Cuadrado de la frecuencia de especies.

Por ejemplo, la Tabla 5 contiene la prueba chi-cuadrado de la tabla de contingencia donde se calcula la frecuencia de especies de árboles con más de 20 cm de DAP por fila y por columna el tipo de bosque (intervenido y no intervenido) para la colina alta. En este caso se comparan los resultados por tipo de bosque, y no se rechaza H₀, o sea, no existen diferencias significativas. La interpretación de los resultados se lee en las Conclusiones. En la Figura 2 se grafica la abundancia de especies de la categoría A encontradas.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis realizado por los autores de este artículo se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Los impactos sobre la abundancia de especies y familias de árboles mayores de 20 cm de DAP, en la parcela de corta anual 2004, no presentaron diferencias significativas entre pisos altitudinales (colina alta: 900- 1000 msnm) y (colina baja: 600 - 700 msnm), tipos de bosques (bosque intervenido y no intervenido) y en la interacción.
2. La abundancia en árboles mayores de 20 cm de DAP, está representada por especies potenciales, en colina alta del “bosque intervenido” y “no intervenido” generalmente por *B. alicastrum*; en la colina baja del “bosque intervenido” por *Pseuldomentialaervis* y en el “bosque no intervenido” por *Pseuldomentiarigida* y *P. amazonica*.
3. En ambos tipos de bosque y pisos altitudinales se evidencia el predominio de especies heliófitas más que esciófitas y la pérdida de especies valiosas como *Swieteniamacrophyla* (caoba) por la intensidad del aprovechamiento que influyeron en la dominancia (AB/ha.) resultando ser estadísticamente significativo con mayor promedio el “bosque no intervenido”.
4. En árboles de 10–19,9 cm de DAP, la abundancia de especies no presentó diferencias significativas entre pisos altitudinales, tipos de bosques y en la interacción. No hay dependencia de frecuencia de especies y tipo de bosque.
5. Los impactos en árboles menores de 9,9 cm de DAP por categorías (“C” de 5,0 -9,9 cm DAP; “D” de < 5,0 cm DAP y 2,0 m altura y “E” de < 5,0 cm DAP y < 2,0 m altura), con mayores porcentajes fueron de “claro parcial por tala” en “C” y menor en la categoría “E”; por lo tanto, la causa principal fue el aprovechamiento forestal (tala parcial y total).
6. De acuerdo al tipo de disturbio en el “bosque intervenido”, los mayores porcentajes fueron de “claro parcial por tala” seguido por “claros naturales” y menor en “claro parcial por camino o patio de trozas”; contrariamente, en el “bosque no intervenido” resultó “sin disturbios” el 64,47% de parcelas que según la prueba de Chi-cuadrado no existe dependencia entre los tipos de claros por categoría de tamaño del soto bosque arbóreo; por lo tanto, la magnitud del daño está directamente relacionada con la intensidad de aprovechamiento y no al tipo de disturbio.
7. En cuanto a la abundancia de árboles de las categorías de menor tamaño C, D y E (< de 9,9cm de DAP), a nivel de los dos tipos de colina de la PCA, se determinó la poca o mínima presencia de especies valiosas.
8. Es la primera vez que en el Perú se realiza un estudio tan exhaustivo y riguroso, donde se utilizan herramientas matemáticas estadísticas sobre la explotación de los árboles maderables de una zona del país.

RECEIVED: SEPTEMBER, 2021.

REVISED: NOVEMBER, 2021.

REFERENCIAS

- [1] BRITTO, P.C., JAEGER, D., HOFFMANN, S., ROBERT, R.C., VIBRANS, A.C. y FANTINI, A.C. (2019): Impact Assessment of Timber Harvesting Operations for Enhancing Sustainable Management in a Secondary Atlantic Forest. *Sustainability*, 11, 62-72.
- [2] CABALLERO, M.M. (2012): **Evaluación de la regeneración natural de *Clarisia racemosa* Ruiz & Pavón en bosques intervenidos de la comunidad nativa Chamiriari, Satipo.** Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Huancayo – Perú.
- [3] CABALLERO MIRANDA, M.L. (2017): **Impactos del aprovechamiento forestal en la estructura y composición florística del bosque productivo de la comunidad nativa Chamiriari, Satipo.** Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2937>. Consultado: 3 septiembre 2020.
- [4] CABALLERO, S.R. (2016): **Informe de viaje de estudios a la Comunidad Nativa de Gloriobamba, Comunidad Nativa de Puerto y Comunidad Nativa de Santa Rosa de Napati.** Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ciencias Agrarias. Satipo – Perú.
- [5] CHOU, C.B., HEDIN, L.O. y PACALA, S.W. (2018): Functional groups, species and light interact with nutrient limitation during tropical rainforest sampling bottleneck. *Journal of Ecology*, 106, 157-167.

- [6] EVERITT, B.S. (2019): **The Analysis of Contingency Tables**. New York: Chapman and Hall/CRC.
- [7] FAO (2020): **Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020-Principales resultados**. Roma. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/ca8753es> Consultado 2 de febrero 2021.
- [8] GUILLARD, J. (2020): **A First Course in Statistical Inference**. Cham: Springer Nature.
- [9] LUNA ROBLES, E.O., CANTÚ SILVA, I. y YÁÑEZ DÍAZ, M.I. (2020): Efectos del manejo forestal en la composición y diversidad de la regeneración natural arbórea en bosques de la Sierra Madre Occidental. **Polibotánica**, 2020, 19-30.
- [10] MERA LOOR, J.L. y BAQUE GUERRERO, B.D. (2021): **Composición y estructura arbórea del bosque de ribera en la parte alta de la represa Poza Onda**. Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.
- [11] MOORE, D.S. (2017): Tests of chi-squared type. En: **Goodness of fit techniques**, pp. 63-96. Routledge.
- [12] MOREIRA MENDOZA, M.K. (2021): **Evaluación de la composición y estructura del bosque seco tropical del sector Membrillar del valle Sancán**, Tesis de Grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.
- [13] PHILLIPS, O., BAKER, T., FELDPAUSCH, T. y BRIENEN, R. (2016): **Manual de Campo para el Establecimiento y la Remediación de Parcelas. RAINFOR**. Disponible en: http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/Manual/RAINFOR_field_manual_version2016_ES.pdf. Consultado 20 diciembre 2016.
- [14] RAEZ ALCOCER, B.G. (2011): **Especies Forestales del Perú** (en línea) Disponible en: http://tala_arbol_peru.pe.tripod.com/taladearboles/id11.html. Consultado 09 de septiembre 2011.
- [15] REÁTEGUI, F. y MARTÍNEZ, P. (2008): Evaluación forestal, informe temático: **Proyecto Mesozonificación Ecológica y Económica para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Satipo, convenio entre el IIAP, DEVIDA y la Municipalidad Provincial de Satipo**. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Programa de Ordenamiento Ambiental, Iquitos - Perú.
- [16] SAGÁSTEGUI, A., DILLON, M., SANCHEZ, I., LEYVA, S. y LEZAMA, P. (2015): **Diversidad Florística del Norte de Perú**. Disponible en: http://www.sacha.org/envir/peru/tab6_sp.htm. Consultado el 15 de septiembre 2015.
- [17] SERFOR (2020): **Árboles patrimoniales del Perú**. Disponible en: <http://www.arbolespatrimonialesperu.com>. Consultado: 15 de agosto 2020.
- [18] STEMMLER, M. (2020): **Person-Centered Methods: Configural Frequency Analysis (CFA) and Other Methods for the Analysis of Contingency Tables** (2nd Ed. 2020 Edition). Cham: Springer Nature.
- [19] 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**. Documento Técnico, Proyecto Bolfor, Santa Cruz, Bolivia.
- [20] TORRES MONTENEGRO, L.A., RÍOS PAREDES, M.A., PITMAN, N.C., VRIESENDORP, C.F. HENSOLD, N., MESONES ASCUY, I., DÁVILA CARDOZO, N., HUAMANTUPA, I., BELTRÁN, H. GARCÍA VILLACORTA, R., MORI VARGAS, T. NEIL, D.A., FINE, P., LOPEZ LÓPEZ, J. NÚÑEZ ITURRI, G., PALACIOS, W., SALINAS REVILLA, N. y TRUJILLO CALDERÓN, W. (2019): Sesenta y cuatro nuevos registros para la flora del Perú a través de inventarios biológicos rápidos en la Amazonía peruana. **Revista Peruana de Biología**, 26, 379-392.
- [21] VIZCARRA LÓPEZ, E.W. (2020): **Creación de batallones ecológicos y deforestación en la región amazónica del Perú**. Tesis de Grado Escuela Militar de Chorrillos "Coronel Francisco Bolognesi", Lima, Perú.
- [22] WU, C. y THOMPSON, M. E. (2020): Resampling and Replication Methods. En: **Sampling Theory and Practice** (pp. 223-244). Cham: Springer.