



JOURNAL OF THE
**Selva Andina
Biosphere**
Official Journal of the Selva Andina Research Society.

Artículo de Investigación

ISSN 2308-3867 (print edition)
JSAB
ISSN 2308-3859 (online edition)

Modelos de aprovechamiento sostenible del Aliso (*Alnus Acuminata* Kunth) en zona de ladera de bosque de niebla

Models of sustainable use of alder (*Alnus acuminata* Kunth) hillside area in forest mist

Pacheco-Agudo Edilberto¹, Quisbert-Guarachi Alicia Sonia²

Datos del Artículo

¹Doctorado en Sostenibilidad de la Universidad Europea de Energía y Medio Ambiente – UEMA. La Paz Bolivia.

²Dinámica de poblaciones. Red 4 Este – Servicio Departamental de Salud. aliciaaliciag@gmail.com. La Paz-Bolivia.

*Dirección de contacto:
Edilberto Pacheco-Agudo.
La Paz Bolivia. Tel +59161145620
edilberto_2002@hotmail.com

Palabras clave:

Alnus acuminata Kunth,
modelo matricial,
modelo demográfico,
sostenibilidad.

J Selva Andina Biosph.
2016; 4(1):24-38.

Historial del artículo.

Recibido octubre, 2015.
Devuelto abril 2016
Aceptado mayo, 2016.
Disponible en línea, mayo 2016

Editado por:
*Selva Andina
Research Society*

Key words:

Alnus acuminata Kunth,
matrix model,
demographic model,
sustainability.

Resumen

Extracciones maderables no planificadas inciden negativamente en la reducción de cobertura boscosa, un manejo adecuado y planificado con extracciones menores a la producción natural permiten conservar por mayor tiempo y de forma sostenible un rodal, en beneficio de poblaciones locales y del mismo ecosistema. En la cuenca de Acero marca se tiene dos rodales de *Alnus acuminata* que son extraídas de forma continua. Con el fin de planificar la extracción de recursos maderables se construyeron y evaluaron modelos matriciales de cosecha para el aprovechamiento sostenible de esta especie en base a estructuras de edad. Para ello se trabajó dos estructuras de edad siguiendo un análisis dendrocronológico y modelo demográfico de la masa forestal, a partir de toma de información local mediante transectos Gentry.

Según el modelo demográfico, la regresión potencial muestra diferencias significativas ($p < 0,001$) que solo explica el 45,5 % de la variación existente, el restante es explicado por la variación ambiental, ello permitió establecer dos estructuras de edad, la primera con siete clases y la segunda con dos clases.

Los resultados de la primera estructura de edad indican que los modelos 1 al 4 son factibles en el tiempo. El análisis de sensibilidad realizado muestra que simulando cosechas selectivas de árboles rectos de 10 hasta un 90 % (modelos 1 al 4) de las categorías 4, 5, 6 y 7 a partir del sexto año, el rodal no sería afectado > 1 y podrían ser los más apropiados para una extracción planificada llegando a ser sostenibles en el tiempo. La segunda estructura de edad resultaron ser extremadamente sensibles a cualquier cambio. Utilizar los modelos matriciales no es un camino sencillo de recorrer. Pese a los resultados, los modelos matriciales junto a la amplia experiencia del observador podrían plantear propuestas de manejo sostenible de los recursos forestales.

© 2016. *Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivia. Todos los derechos reservados.*

Abstract

Timber extractions non planned affect negatively in the reduction of forest cover, proper management and planned with minor extractions preserve the natural production allow for longer and sustainable forms a stand to benefit local populations and the same ecosystem. In the basin of Acero Marca has two stands *Alnus acuminata* that they are extracted continuously. With the purpose of planning the extraction of timber resources were constructed and evaluated matrix models sustainable harvest of this species on the basis of structures of age. For this, two old structures we worked following a dendrochronological analysis and demographic model of the forestall mass, from making local information by transectos Gentry.

According to the demographic model, the potential regression evidences significant differences ($p < 0.001$) that only it explains 45.5 % of the existent variation, the remainder is explained by the environmental variation, it allowed establishing two elderly structures, the first with seven classes and the second one with two classes.

The results demonstrate the first age structure suggest than models 1 to 4 are feasible in time. The sensitivity analysis shows that simulate selective harvests straight trees of 10 to 90% (models 1 to 4) of categories 4, 5, 6 and 7 from the sixth year, the stand would not be adversely affected > 1 and could be the most appropriate for a planned extraction becoming sustainable over time. The second structure of age proved extremely sensitive to any change. To use the matrix models is not a simple path of going over. In spite of the results, the matrix models joined to ample experience of the observer would be able to present proposals of sustainable handling of the forestal resources.

© 2016. *Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivian. All rights reserved.*

Introducción

En cualquier lugar del mundo, la tasa de extracción de los recursos forestales es cada vez mayor, el valor económico asignado a cada especie arbórea está dado por la utilidad que representa para los usuarios, muchos usos dan gran valor a la especie e inciden en una extracción continua, influyendo drásticamente en la reducción de la superficie de rodales en áreas circunscritas a poblaciones rurales (FAO 2001, 2006).

El aliso *Alnus acuminata* Kunth, prospera en laderas de montañas muy inclinadas como es la vertiente oriental de la cordillera Real de Los Andes, con rangos de temperatura entre 4 a 27 °C, y precipitación variable 1000 a 3000 mm, condicionados por la gradiente altitudinal, *A. acuminata* entre otros conforman los bosques de niebla (Beck 1988). Los suelos donde el Aliso prospera son limosos o limo-arenosos de origen aluvial o volcánico (Kunth 1817, Ibsch & Mérida 2008). Es probablemente una especie arbórea con amplio rango latitudinal en el mundo (20° N a 28° S). En el Ecuador, el aliso se encuentra entre los 2300 y 2400 msnm (Añazco 1996), en Bolivia esta especie se encuentra entre 1.00 y 2500 msnm (Hueck 1978, Cruz & Pedrotti 2006, Killeen *et al.* 1993).

Esta especie, catalogada como pionera es importante en las etapas sucesionales tempranas, de modo que permita una revegetación de áreas despobladas. Se establece rápidamente en orillas de ríos, arroyos, áreas de deslizamientos y superficies degradadas por desmonte o sobre pastoreo (Grau *et al.* 1995), llegando a formar áreas boscosas secundarias de considerable extensión junto a otras especies. Es una especie importante en los procesos de regeneración

de los bosques (Kunth 1817, Grau *et al.* 1995), por lo que podría ser importante en programas de restauración de bosques nativos, asimismo, su capacidad de fijar nitrógeno de la atmósfera e incorporarlo en el suelo (Murcia 1997, Vásquez *et al.* 1998) promueve el establecimiento de otras especies y la protección de cuencas y microcuencas (Kunth 1817, Añazco 1996, Murcia 1997) cumpliendo un papel fundamental de servicio ambiental como áreas de recarga de acuíferos (Brunig & Klinge 1975, Grau *et al.* 1995), fijación de carbono (Novoa *et al.* 2006; Seppälä *et al.* 2009, Cantore & Padilla 2010) y en el sitio son pioneros en la regeneración de áreas degradadas.

El valor económico asignado a esta especie por los pobladores locales para diferentes usos (mangos de herramientas, para la construcción y fabricación de muebles como elaboración de artesanías), genera una extracción continua, reduciéndose la superficie de los rodales en áreas circunscritas a la población de Yervani, por tanto, es necesario realizar monitoreos y evaluaciones de esta especie que conduzcan a establecer modelos de cosecha local para la extracción sostenible ante la merma de este recurso.

Si bien las propuestas de Barry *et al.* (2010) siguiendo el Modelo Mexicano de Manejo Forestal Comunitario, se enfocan en la devolución de los derechos de uso de los bosques y todos sus productos a las comunidades locales, sería insuficiente para hacer sostenible un manejo forestal. Las estimaciones del volumen de crecimiento en un período, considerando una tasa constante sobre el volumen residual (Mendoza & Rodríguez 1959) no solucionarían la extracción continuada existente. Al respecto Reynoldts *et al.* (1984), indican que el equilibrio de la extracción del volumen constante producido en un

período sobre el volumen inicial puede sostener la cosecha indefinidamente permitiendo conservar el bosque. Esta afirmación según O'Hara (1998) conduciría a una práctica sustentable. De forma complementaria Seymour & Kenefic (1998) indican que otras formas boscosas pueden mantener un nivel de cosecha y conservar el bosque sin ser equilibradas.

Experiencias sobre modelos de cosecha ya fueron trabajadas, López *et al.* (2007) usan modelos de proyección en base al crecimiento y rendimiento, considerando el área basal y volumen para determinar la edad óptima de rotación en un rodal. Reyes (2011), trabaja modelos logarítmicos y cuadráticos para predecir el crecimiento de los árboles en bosques mezclados e irregulares. Chiari *et al.* (2008) utilizan la programación lineal entera binaria con la función de minimizar el costo total de aprovechamiento para la planificación del aprovechamiento en plantaciones forestales. Valdez-Lazalde & Lynch (2000), usan los modelos de crecimiento y rendimiento total y comercial para la toma de decisiones en la predicción y control de rendimientos. Resultados de Glover (1979) y Reyes (2011) muestran que índices de competencia basados en área basal y diámetro junto a los índices de densidad de la especie estudiada en el rodal son los que mejor se ajustan como predictores del crecimiento.

Pronosticar modelos de cosecha en especies latifoliadas de crecimiento natural, cuando alcancen el volumen esperado, no se hace sencillo para un manejo comunitario local en áreas poco intervenidas, Lefkovitch (1965) trabajo con matrices de proyección para algunas poblaciones de insectos y otros caracterizadas por sus estadios o etapas con el afán de comprender de mejor manera el crecimiento de una población en relación solo a las tablas de vida introducida por Raymond Pearl en 1921, asimismo, las tablas de vida representan, por un lado, una ma-

nera sinóptica y sintética de plasmar en forma cuantitativa y numérica las principales características de la mortalidad específica por edades y, por otro, es un punto de partida para elaborar parámetros poblacionales que permiten establecer características concernientes a la población en estudio (Crouse *et al.* 1987, Connell, 1970). La ventaja de usar además la matriz sobre la tabla de vida es que puede calcular el número de individuos de cada edad de la siguiente generación, la distribución de edad y tamaño poblacional de futuras generaciones, la distribución de edad estable, y las tasa de crecimiento poblacional asintótica.

Una forma de generar modelos de cosechas es a partir del ciclo de vida de la especie, de ello se debe obtener un esquema de fecundidad-el número de descendencia nacida para los individuos de cada edad. El número total de descendencia está usualmente dividido entre el número de individuos en la edad, dándole el número común de descendencia por individuo, o per cápita de fecundidad (Deevey 1947), para el posterior uso de los modelos matriciales de proyección, con fines de estimar la tasa finita de crecimiento de una población (λ) y su sensibilidad a los cambios en los elementos de la matriz de transición. El modelo da una idea sobre las partes del ciclo de vida (Caswell 2001) que están bajo mayor presión de selección, o desde un punto de vista de manejo considera que cuando $\lambda = 1$, la población se considera estable en el tiempo, $\lambda < 1$ existe una reducción de la población y $\lambda > 1$ la población se encuentra en crecimiento a lo que se ha denominado "presión de selección" en dicho elemento (Ebert 1999). Por otro lado, permite proyectar la población en el tiempo que se considere adecuado para modelar tasas de cosecha variando los parámetros de supervivencia calculando para cada modelo la tasa de crecimiento de la población (λ). De esta

forma es posible obtener proyecciones de posibles escenarios en el tiempo y elegir el más adecuado.

Considerando estos aspectos, se estudió el diámetro altura pecho (DAP), altura y dominancia en la vegetación arbórea mediante transectos Gentry, la edad se determinó mediante dendrocronología en parches definidos. Con esta información los objetivos fueron generar modelos de cosecha para el aprovechamiento sostenible de los bosques de aliso (*A. acuminata*) en la región de Yervani mediante el uso de modelos demográficos y construcción de modelos matriciales de proyección, asimismo, se evaluó la precisión de la matriz como herramienta en la generación de modelos de cosecha.

Materiales y métodos

Zona de estudio. El estudio se llevó adelante en parches de aliso de la comunidad de Yervani, tercera sección Yanacachi. Esta zona corresponde a la formación de bosque nublado de ceja de yungas, donde los árboles de *A. acuminata*, como los de *Podocarpus sp.*, suelen distribuirse en parches y rodales formando parches casi puros inmersos en el bosque nublado y disectado (Ribera 1995). Los habitantes se dedican principalmente al cultivo de flores (hortensias, gladiolos y otros), como a la cosecha de aliso.

Para generar los modelos demográficos y modelos matriciales de cosecha de árboles de Aliso (*A. acuminata*) se muestrearon dos parches de bosque. En cada parche se instalaron “transectos Gentry” (2* 50 m), en el primer parche se realizaron cuatro transectos, en el segundo tres, que fueron ordenados perpendicular a la pendiente (superior al 100%). En cada transecto se cuantificaron todos los árboles y plántulas. Para cada individuo se tomaron: i) diáme-

tro altura del pecho, ii) altura de la planta, iii) estado fenológico, iv) forma del fuste recto, medianamente torcido y torcido (Añazco 1996), v) Otras observaciones (Garmendia & Samo 2005).

Para obtener una relación directa entre la edad de los árboles con el diámetro altura pecho (DAP) se trabajó con dendrocronología (Hueck 1978). Para esto, en cada parche fueron seleccionados individuos de distinto DAP de los cuales se obtuvo muestras con barrenos que fueron etiquetadas y codificadas. En árboles cortados o caídos, se tomó una sección del tronco remanentes. Las muestras obtenidas, fueron preparadas en laboratorio, con lija de madera se procedió al pulido de la muestra, para que los anillos sean totalmente observables, posteriormente se procedió con la identificación de anillos y conteo correspondiente con un estéreo microscopio (Imaña & Encinas 2008).

Resultados

Parcelas evaluadas: Cada parche observado presentó diferentes estructuras de edad. El primer parche estudiado presentó una elevada pendiente, superior al 100%, en este, se encontró un número elevado de individuos distribuidos hasta los 25 cm de DAP mientras que un número reducido de individuos alcanzaron DAP superior a 30 cm. El segundo parche, presentó características más heterogéneas siendo dominantes individuos de hasta 5 cm de DAP, asimismo, se encontraron reducido número de individuos distribuidos en las categorías siguientes (figura 1).

Resultados obtenidos, dan a conocer una densidad estimada para la población total de 14436 individuos/hectárea, con densidades estimadas de 16265 y 12610 árboles/ha, tanto en la primera como en la segunda parcela respectivamente. Árboles de la

segunda parcela (DAP de hasta 30 cm) fueron en general de mayor diámetro altura pecho que la pri-

mera, en ambos casos se presentaron individuos con alturas de hasta 17 m, figura 2.

Figura 1 Individuos distribuidos de *Alnus acuminata* (Kunth) en categorías de DAP en parcelas estudiadas, Yervani

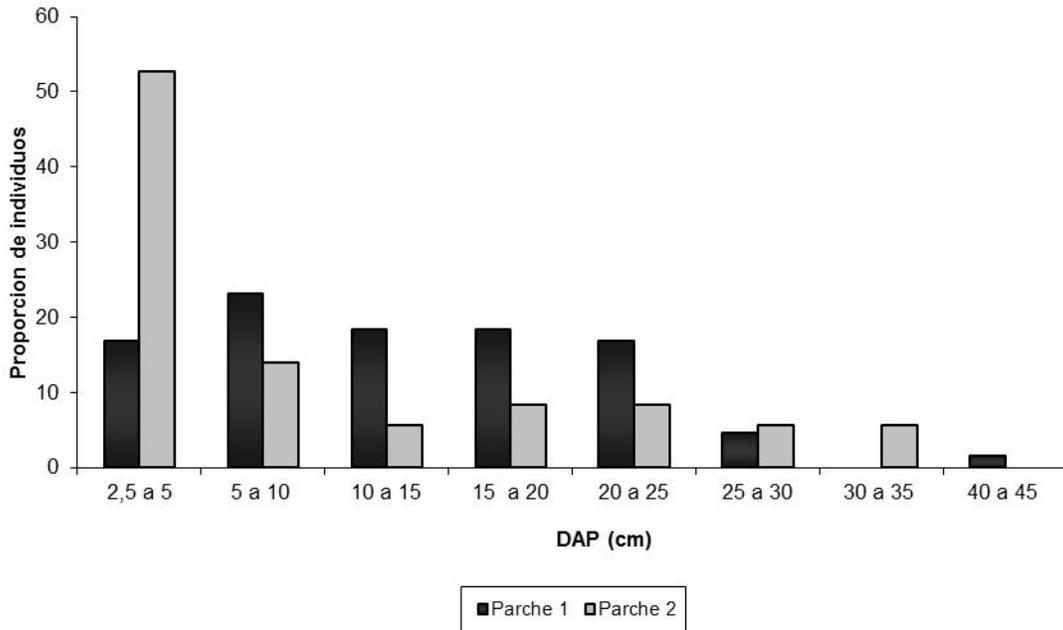
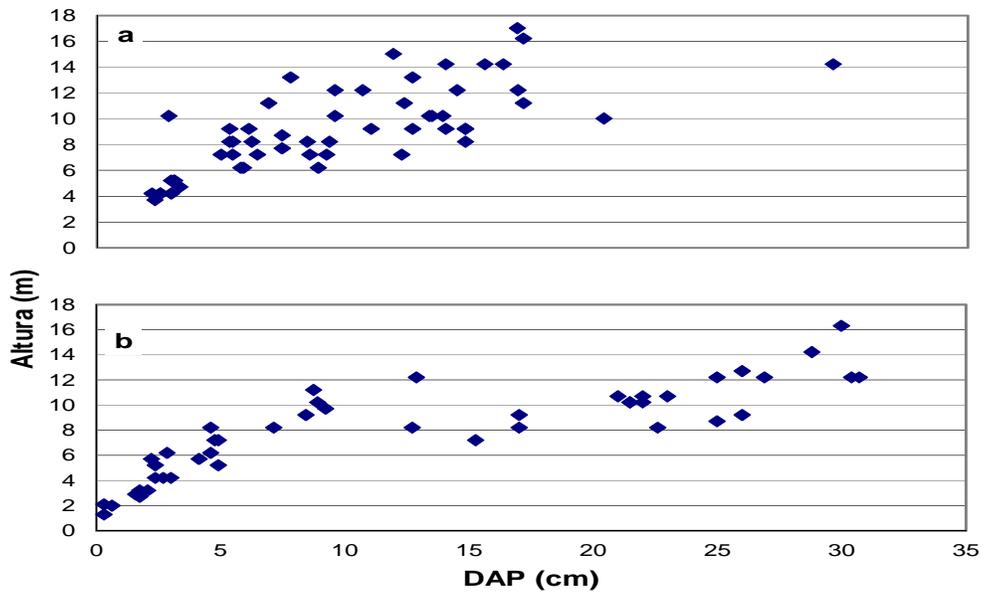


Figura 2 Relación de altura y DAP a) primer parche b) segundo parche de *A. acuminata* (Kunth)



Según categoría de fuste, se observaron diferencias entre ambas parcelas ($\chi^2 = 6.46$, $P=0.038$), aunque en ambas parcelas el patrón es parecido, muchos individuos presentan fustes rectos y muy pocos árboles presentan fuste torcido. La distribución de individuos en la categoría de dominancia fue significativamente diferente en ambas parcelas ($\chi^2 = 6.137$, $P=0.048$). La primera parcela presentó mayor número de individuos dominados, mientras que la segunda parcela presentó mayor cantidad de árboles dominantes contrario a la primera. En ambos casos fueron observados árboles adultos torcidos e inaccesibles considerados semilleros.

Modelo demográfico y estructura de edades: según la relación entre DAP y edad de los árboles, de acuerdo al modelo demográfico: $AÑOS = (DAP/0.2618)^{1/1.6218}$ (Ecuación 1), la regresión potencial fue estadísticamente significativa ($F_{24} = 20,03$, $p < 0.001$), que explica solo el 45.5% de la variación existente, el restante 54.5% lo explicaría el factor ambiental (considerando el relieve de la zona), las características particulares de la especie. Las estructuras de edades establecidas según el modelo se presentan en las tablas 1 y 2.

Tabla 1 Estructura de edad 1 de *A. acuminata* y porcentaje de cosecha planificada

| Clase de edad | Años | % individuos | % cosecha planificada | | | | | | | |
|---------------|-------|--------------|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 0-1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 20 | 20 | 30 |
| 2 | 1-6 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 20 | 10 |
| 3 | 7-10 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 20 | 10 |
| 4 | 11-13 | 19 | 10 | 30 | 50 | 90 | 10 | 10 | 20 | 10 |
| 5 | 14-15 | 15 | 10 | 30 | 50 | 90 | 10 | 10 | 20 | 10 |
| 6 | 16-17 | 8 | 10 | 30 | 50 | 90 | 10 | 10 | 20 | 10 |
| 7 | 18-23 | 5 | 10 | 30 | 50 | 90 | 10 | 10 | 20 | 10 |
| Total | | 100 | | | | | | | | |

Tabla 2 Estructura de edad 2. *A. acuminata* y porcentaje de cosecha planificada

| Clase de edad | Años | % individuos | % cosecha planificada | | | | | | |
|---------------|------|--------------|-----------------------|---|----|----|----|----|-----|
| 1 | 0-6 | 30 | 0 | 5 | 10 | 20 | 50 | 90 | 100 |
| 2 | 7-23 | 70 | 0 | 5 | 10 | 20 | 50 | 90 | 100 |
| Total | | 100 | | | | | | | |

Modelos de cosecha: Estructura de edad 1. Según los modelos de cosecha construidos (figura 3) se observan en un primer tiempo una reducida población de aliso, expresado por un valor $\lambda < 1$. En un tiempo de seis años y siguientes el valor de lambda se incrementa, $\lambda > 1$ en los modelos 1, 2, 3 y 4. Los modelos 5 y 6 muestran una población estable en el

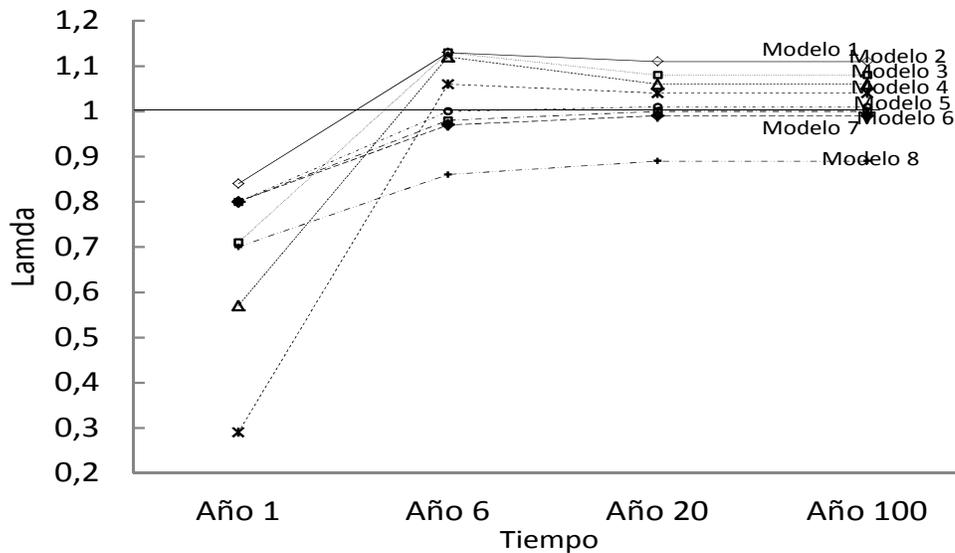
tiempo. Los modelos 7 y 8, que presentan un lambda menor a 1, muestran una población insostenible en el tiempo, tabla 3).

El análisis de sensibilidad realizado, muestra que cosechas selectivas de árboles rectos hasta un 90 % (modelos 1 al 4) de las categorías 4, 5, 6 y 7 a partir del sexto año, el rodal presenta un valor lambda ma-

yor a 1 (>1). Los modelos 6, 7 y 8, donde se incrementa paulatinamente la tasa de cosecha en

edades juveniles y adultas el índice lambda decrece alcanzando valores inferiores a 1.

Figura 3 Modelos de cosecha de *A. acuminata* (Kunth) en estructura de edad 1, Yervani. (lamda > 1, población estable)



Estructura de edad 2. Considerando la segunda estructura de edad (figura 4), sin la práctica de ninguna cosecha o extracción en la edad 1, el valor inicial de lambda es de 0.63 y en el tiempo tiende a aproximarse a 1, sin lograr igualar el valor. En una actividad extractiva, sin considerar la edad de los árboles o sin planificación, los valores de lambda decrecen con el tiempo a medida que se incrementa la tasa de extracción, expresando sensibilidad a cambios que se realizan en las tasas de supervivencia, segunda estructura de edad, donde se estableció solo dos categorías de edad, en este caso ambas categorías resultaron extremadamente sensibles a los cambios extractivos (tabla 4) que se realice a sus supervivencias, por lo que ninguno de los modelos planteados podría ser considerado sostenible (tabla 4).

Discusión

Modelos de cosecha. Según el periodo de tiempo en la que se obtuvo la información, fue posible identificar las principales características de la población de aliso, por lo que, 6 años aproximadamente es el tiempo medio que tardan las plántulas en formar parte de la población reproductiva. Se estableció que los dos parches muestreados pertenecen a la misma población, en el que las clases de edad se distribuyen en el espacio como manchas. Asimismo, con criterio técnico se estableció una propuesta de manejo de cosecha estructurada en el espacio, según la historia natural de *A. acuminata*.

Tabla 3 Sensibilidad ante cambios porcentuales de cosecha en categoría de edad de la primera estructura, para cada modelo de extracción de *A. acuminata* en Yervani

| Modelos de cosecha | % de cambio | Categoría de edad | Categoría de edad | | | |
|--------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 1 | 6 | 20 | 100 |
| Modelo 1 | 0 | 1 | 0.84 | 1.12 | 1.11 | 1.11 |
| | 0 | 2 | | | | |
| | 0 | 3 | | | | |
| | 10 | 4 | | | | |
| | 10 | 5 | | | | |
| | 10 | 6 | | | | |
| | 10 | 7 | | | | |
| Modelo 2 | 0 | 1 | 0.72 | 1.12 | 1.08 | 1.08 |
| | 0 | 2 | | | | |
| | 0 | 3 | | | | |
| | 30 | 4 | | | | |
| | 30 | 5 | | | | |
| | 30 | 6 | | | | |
| | 30 | 7 | | | | |
| Modelo 3 | 0 | 1 | 0.56 | 1.12 | 1.05 | 1.06 |
| | 0 | 2 | | | | |
| | 0 | 3 | | | | |
| | 50 | 4 | | | | |
| | 50 | 5 | | | | |
| | 50 | 6 | | | | |
| | 50 | 7 | | | | |
| Modelo 4 | 0 | 1 | 0.28 | 1.05 | 1.03 | 1.04 |
| | 0 | 2 | | | | |
| | 0 | 3 | | | | |
| | 90 | 4 | | | | |
| | 90 | 5 | | | | |
| | 90 | 6 | | | | |
| | 90 | 7 | | | | |
| Modelo 5 | 10 | 1 | 0.80 | 1.00 | 1.01 | 1.01 |
| | 10 | 2 | | | | |
| | 10 | 3 | | | | |
| | 10 | 4 | | | | |
| | 10 | 5 | | | | |
| | 10 | 6 | | | | |
| | 10 | 7 | | | | |
| Modelo 6 | 20 | 1 | 0.80 | 0.98 | 1.00 | 1.00 |
| | 10 | 2 | | | | |
| | 10 | 3 | | | | |
| | 10 | 4 | | | | |
| | 10 | 5 | | | | |
| | 10 | 6 | | | | |
| | 10 | 7 | | | | |
| Modelo 7 | 20 | 1 | 0.70 | 0.85 | 0.89 | 0.89 |
| | 20 | 2 | | | | |
| | 20 | 3 | | | | |
| | 20 | 4 | | | | |
| | 20 | 5 | | | | |
| | 20 | 6 | | | | |
| | 20 | 7 | | | | |
| Modelo 8 | 30 | 1 | 0.81 | 0.98 | 0.99 | 0.99 |
| | 10 | 2 | | | | |
| | 10 | 3 | | | | |
| | 10 | 4 | | | | |
| | 10 | 5 | | | | |
| | 10 | 6 | | | | |
| | 10 | 7 | | | | |

Figura 4 Modelos de cosecha de *A. acuminata* (Kunth) en estructura de edad 2, Yervani. ($\lambda > 1$ población estable)

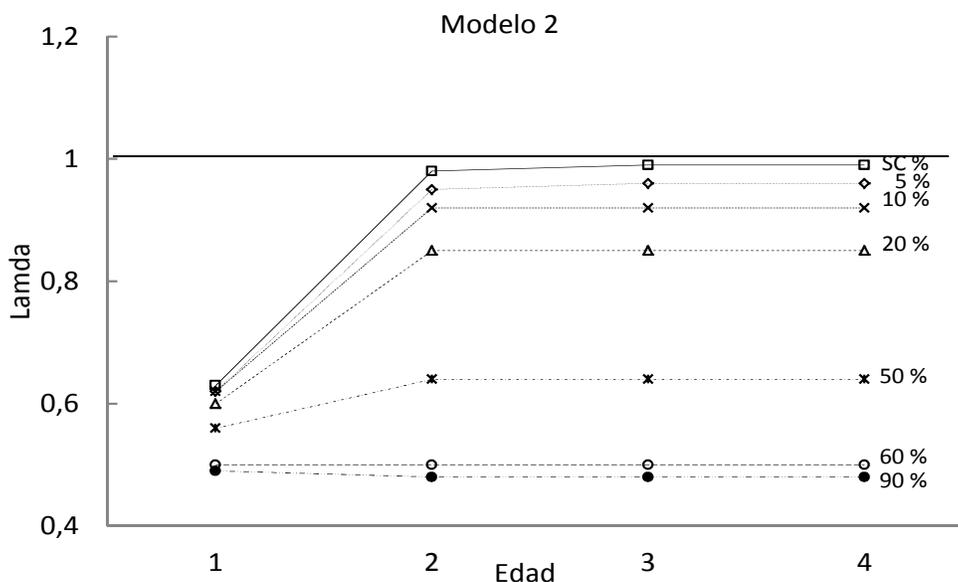


Tabla 4 Sensibilidad realizados sobre los valores de supervivencia en dos categorías de edad de *A. acuminata* en Yervani

| | | % de cambio | Clase de edad | 1 | 6 | 20 | 100 |
|----------------------------|-----|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | sin cambio | | 0.63 | 0.98 | 0.99 | 0.99 |
| Modelo clase edad 1 | | 5 | 1 | 0.59 | 0.96 | 0.97 | 0.97 |
| | | 10 | 1 | 0.56 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| | | 20 | 1 | 0.51 | 0.93 | 0.93 | 0.93 |
| | | 50 | 1 | 0.44 | 0.91 | 0.91 | 0.91 |
| | | 90 | 1 | 0.63 | 0.91 | 0.91 | 0.91 |
| | | 100 | 1 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 |
| Modelos clase edad 2 | | 5 | 2 | 0.62 | 0.95 | 0.96 | 0.96 |
| | | 10 | 2 | 0.62 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| | | 20 | 2 | 0.60 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| | | 50 | 2 | 0.56 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| | | 90 | 2 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | 100 | 2 | 0.49 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | |

Según características observadas de *A. acuminata*, es una especie pionera, que generalmente se establece en cohortes, grupos o manchas de individuos coetáneos, hasta formar bosquecillos con individuos de la misma edad con tamaños variables. Esta forma de establecimiento de la población de *A. acuminata* podría explicar la reducida presencia de plántulas o árboles de edades diferentes en

manchas coetáneas donde se hallan los adultos (Añasco 1996).

Ya que esta especie es muy importante en los procesos de regeneración natural por su fácil establecimiento, rápido crecimiento, baja dependencia al agua y capacidad de fijar nitrógeno, la hacen adecuada para poder establecer programas de revegetación en sitios altamente perturbados, además que, debido al relieve e individuos en sitios inac-

cesibles o individuos torcidos -poco atractivos debido a la extracción selectiva-, contribuirían de forma significativa en la producción de semilla, consiguientemente, en la repoblación. El manejo tradicional del bosque por la comunidad, considera que individuos con estas características no sean removidas del lugar, coincidiendo con las prácticas de manejo comunitario enunciadas por Barry *et al.* (2010).

Según los modelos de cosecha, una práctica extractiva realizada cuando el valor λ sea menor a 1 en cualquier edad, incidiría negativamente sobre la estabilidad natural del bosque. Cuando el valor λ llega a 1 o es superior, significa que la población de aliso se encuentra en desarrollo, es decir, la población se incrementa en número de individuos y volumen.

Por lo que, los modelos que mejor se adecuan a programas de cosecha son los modelos uno al cuarto, con tasas extractivas inclusive del 90 % en clases de edad 4, 5, 6 y 7 puesto que la producción natural es superior a la tasa de extracción local, la sensibilidad de la cosecha frente al incremento extractivo de 10 % a 90 % se expresa en la reducción del valor λ de 1.15 a 1.01, donde la población aún se mantiene estable en el tiempo, y podrían ser los más apropiados para una extracción, debido a que los valores de λ a lo largo del tiempo son estables no descendiendo a valores de 1, ello puede deberse a que son mantenidos por árboles semilleros adultos y torcidos no extraídos, por otro lado, tasas de extracción superiores al 30% se observa que el índice λ se aproxima a 1, ésta disminución indicaría reducción de la población de *A. acuminata* debido a la presión sometida a los árboles semilleros rectos, pero aun así, la extracción no afecta la producción del número de descendientes, consiguientemente, cuan-

do los valores de λ son inferiores a 1, indica que la tasa de extracción maderable, es superior a la tasa de producción natural, estos modelos de cosecha expresarían un declinamiento de la población base, por lo que esta práctica sería insostenible en el tiempo, debido a que tanto árboles semilleros como juveniles serían extraídos. El modelo recomendado para ser tomado en cuenta en programas de cosecha es el quinto, según este modelo, se puede llegar a cosechar hasta solo el 10% de los individuos inclusive en árboles de hasta seis años (clase 3) manteniendo el valor λ ($\lambda = 1,01$), ello no significa que los modelos 4, 6 y 7 no sean apropiados, solo que bajo ciertas condiciones declinan y se mantienen en el tiempo.

Sin embargo estos modelos contemplan que las condiciones serán las adecuadas para que los árboles semilleros logren producir un número promedio de semillas que permita su regeneración en el tiempo (Fisher 1958). Al respecto Caswell (2001) indica, que en la descendencia futura, la probabilidad de sobrevivir depende del valor reproductivo de la edad dada o la clase de etapa considerada. En el caso que la sobrevivencia de las primeras categorías se vea afectada en un valor superior a 10%, los valores de la tasa finita de crecimiento estarían por debajo de uno, que sería insostenible en el tiempo modelos 7 y 8 con valor λ menor a 0.86.

En la segunda estructura de edad, se estableció solo dos categorías de edad, en este caso ambas categorías resultaron extremadamente sensibles a los cambios extractivos (Tabla 4) ya que cualquier actividad que se realice influirá negativamente en la continuidad, por lo que ninguno de los dos modelos planteados podría ser considerado sostenible en el tiempo.

Una limitante es que esta matriz de proyección no contempla la aleatoriedad ambiental (Gotelli & Ellison 2004), esta es una debilidad ya que muchas especies de plantas útiles pueden verse afectadas por cambios bruscos en las condiciones ambientales, generando cambios en los programas de manejo que pueden establecerse, en este caso, es posible establecer que en un año “anómalo” (con condiciones ambientales desfavorables-periodo seco, bajas temperaturas) la producción de semillas puede verse afectada en su cantidad y viabilidad, por lo que tanto los modelos 4 y 5 sugeridos podrían no llegar a ser sostenibles en el tiempo.

Asimismo, es importante hacer notar que no fueron considerados incrementos en el número de usuarios, si estos aumentan en el tiempo o se presenta un cambio en la actividad la producción natural sería menor a la tasa extractiva, llevando a un colapso del rodal. Pero ante la presencia de árboles torcidos, e inaccesibles, además de dejar arboles semilleros, permitirían abastecer de semillas suficientes, inclusive en años irregulares. Por otro lado, pueden establecerse extracciones planificadas en cuanto al número de extractores que podría controlar el incremento de usuarios, controlados por los mismos pobladores según manejo comunitario (Barry *et al.* 2010).

Si bien López *et al.* (2006) como Valdez-Lazalde & Lynch (2000), Reyes (2011), guiados por el área basal y volumen pueden proyectar movimientos rotativos en bosques implantados, los modelos matriciales utilizan Información obtenida *in situ*, y mediante regresión de potencia relacionan la edad y diámetro de los individuos, para posteriormente proyectarlos en la superficie del rodal según cohortes establecidas en terreno, para de esta forma realizar un manejo natural de parches en esta especie.

Pese a los hallazgos mostrados en los resultados, los modelos matriciales de proyección utilizadas, podrían no ser la mejor herramienta para establecer programas de manejo para esta especie, esto debido a que se necesita la relación DAP-edad para establecer las clases de edad, por lo que depende del observador la estructuración de las clases de edad como el tamaño de la cohorte, ya que los resultados podrían ser diferentes, por la subjetividad que ello representa.

La sensibilidad también dependerá de cómo se construye la estructura de edades, en el primer caso (7 categorías) las edades más sensibles a cambios en la cosecha parecen ser las primeras tres, presentando las últimas menor sensibilidad a cambios en sentido creciente. Un manejo adecuado podría llegar a aprovechar porcentajes importantes de los individuos que la componen. Sin embargo, debemos tomar en consideración que en estas edades es cuando los árboles producen mayor cantidad de semillas (Añazco 1996) y una extracción no planificada incidiría en una reducción de simientes. En contraste, está el segundo modelo, donde vemos que la categoría más sensible es la segunda (amplia cohorte), correspondiente a los individuos fértiles.

Estas diferencias entre ambas formas de establecer las categorías de edad tienen implicancias al momento de plantear propuestas para el manejo de rodales ya que en el primer caso se podrían plantear cosechas sostenibles (O'Hara 1998) para el uso maderable, mientras que el segundo caso permitiría establecer estrategias de conservación para asegurar el mantenimiento de la población restringiendo la cosecha de individuo adultos, aunque sean los más apreciados por el volumen que representan.

La opción más factible para la segunda estructura de edad propuesta, es poder aumentar en un 30% la supervivencia de los individuos de la categoría 1, reduciendo la colección de semillas, ello permitiría extraer hasta el 40% de los individuos de la segunda categoría siendo sostenible en tiempo. En este caso, es importante establecer de forma fija la presencia de individuos semilleros, los que garantizarían el mantenimiento de la población.

Utilizar matrices de proyección como herramientas de manejo forestal sostenible no es el camino más allanado y sencillo de seguir, los resultados que pueden derivar de decisiones basadas en su uso con información biológica poco confiables esbozarían modelos muy alejados de la realidad, en este entendido puede ser mejor opción los métodos propuestos por Chiari *et al.* (2008). Para tener confianza en los resultados modelados, se deben realizar estudios temporales haciendo seguimiento a individuos de varias categorías de edad para de esta forma obtener datos de tasas de crecimiento y supervivencia los cuales serán apropiados para el uso de esta herramienta. Los modelos derivados de las matrices son sensibles a las variaciones en estos parámetros.

Asimismo, se debe considerar parches de diferentes edades para obtener valores de supervivencia para todas las categorías de edad. En este caso la propuesta podría llegar a ser la extracción de parches completos de Aliso de cierta categoría de edad, esta alternativa es factible si consideramos que esta es una especie de áreas con perturbaciones fuertes por lo que al extraer todos los árboles de un parche propiciaríamos la llegada de nuevos individuos de esta especie, para asegurar el establecimiento de nuevas plántulas por dispersión de semillas pendiente abajo, procedentes de árboles semilleros de las partes inaccesibles de los parches

como en la especie *Virola sebifera* propuesto por Arteaga (2004). Además, al ser una especie económicamente importante con diversos usos potenciales (Kunth 1817) maderables dados a los adultos o como combustible los pequeños, pueden aprovecharse para distintos fines todo el material que se extraiga de los parches manejados con un sistema de cosecha propuesto. Con los resultados obtenidos es posible llevar a cabo programas de manejo extractivo para la utilización sostenible del aliso, sin entrar en la propuesta de devolución del derecho de uso de los bosques de Barry *et al.* (2010) a comunidades locales.

Conflictos de intereses

Este trabajo se hizo en el marco del Doctorado en Sostenibilidad de la Universidad Europea de Energía y Medio Ambiente. No presenta conflicto de intereses.

Agradecimientos

A los pobladores de Yervani por el emprendimiento conjunto y su apoyo en campo.

Literatura citada

- Añazco. El Aliso. Proyecto de desarrollo forestal campesino en los Andes de Ecuador (DFC). Editorial Gráficas Iberia. 1996; 167 pp.
- Arteaga MB. Evaluación de la productividad de sitios forestales. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. México. 1985.
- Barry D, Bray D, Madrid S, Merino L, Zúñiga. El manejo forestal sostenible como estrategia de

- combate al cambio climático: las comunidades nos muestran el camino. Consejo civil mexicano para la silvicultura sostenible (CCMSS), la Iniciativa para los derechos y recursos, Ford Foundation. 2010.
- Beck S. Las ecorregiones y las unidades fitogeográficas de Bolivia. P.233-267. En: manual de Ecología (De Morales Ed). Instituto de Ecología, UMSA, La Paz. 1988.
- Brunig EF, Klinge H. Structure, functioning and productivity in humid forest ecosystems in parts of the Neotropics. 1975; 109:87-116. Mitteilungen der Bundersforschungsanstalt fur forst ubd Holzwirtschaft. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF19770189274>.
- Cantore N, Padilla E. Equality and CO2 emissions distribution in climate change integrated assessment modelling. Energy. 2010; 298-13.
- Caswell H. Matrix Population Models, 2nd Ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 2001.
- Chiari L, Carrero OE, Jerez M, Quintero MA, Stock J. Modelo preliminar para la planificación del aprovechamiento en plantaciones forestales industriales en Venezuela. Interciencia. 2008; 33:11.
- Connell JH. A predator-prey system in the marine intertidal region. I. *Balanus glandula*. Ecological Monographs. 1977; 40: 49-78. (Reprinted in Ecology: Individuals, Populations and Communities, 2nd edition, M. Begon, J. L. Harper and C. R. Townsend. (1990) Blackwell Scientific Publications, Oxford.)
- Crouse DT, Crowder LB, Caswell H, A stage-based population model for loggerhead sea turtles and implications for conservation. Ecology 1987; 68:1412-1423.
- Crowder LB, Crouse DT, Heppell SS, Martin TH. Predicting the impact of turtle excluder devices on loggerhead sea turtle populations. Ecol Appl. 1994;4: 437-445.
- Cruz ML, Pedrotti F. Woody Formations in a Mesothermic Valley of Tarija Province, Bolivia (pp. 75-86). Springer Berlin Heidelberg. 2006.
- Deevey ES Jr. 1947. Life tables for natural populations of animals. The Quarterly Review of Biology 22: 283-314. (Reprinted in Readings in Population and Community Ecology, W.E. Hazen (ed.). 1970, W.B. Saunders, Philadelphia.)
- Ebert, TA. Plant and animal populations methods in demography. San Diego California. Academic Press 1999; 312.
- Fisher RA. The Genetical Theory of Natural Selection. Clarendon Press, Oxford. 1958.
- Food and Agriculture Organization, 2006: Global Forest Resources Assessment. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper. 2005; 147, 320.
- Food and Agriculture Organization. State of the World's Forests. Rome, Italy. 2001.
- Garmendia SA, Samo LAJ. Prácticas de ecología. Universidad Politécnica de Valencia. 2005; 139, 174.
- Glover GR, Hool JN. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. For Sci. 1979; 25, 275-282.
- Gotelli NJ, Ellison AM. A Primer of Ecological Statistics. Sinauer Associates, INC Publishers. Sunderland, Massachusetts. USA. 2004.
- Grau HR, Brown AD, Churchill SP, Balslev H, Forero E, Luteyn JL. Patterns of tree species diversity along latitudinal and altitudinal

- gradients in the Argentinean subtropical montane forests. In Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests. New York Botanical Garden, 21-26 June 1993. Proceedings of a symposium. 1995; 295-300.
- Hueck K. Los Bosques de Sudamérica. Ecología, Composición e Importancia Económica. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) Alemania. 1978; 476.
- Ibisch PL, Merida (eds). Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado del conocimiento de la conservación. Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. 2008.
- Imaña EJ, Encinas BO. Epidometria forestal. Brasilia: Universidad de Brasilia, Departamento de Engenharia Florestal Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 2008.
- Killeen TJ, García E, Beck SG. Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia. (958 p). Missouri Botanical Garden, La Paz. 1993.
- Kunth. *Alnus acuminata*. Nova Genera et Species Plantarum. 1817; 2:20.
- Lefkovich LP. The study of population growth in organisms grouped by stages. Biometrics. 1965; 21:1-18.
- López A, Barrios TA, Ortega A, Nieto MN, Guido G, Salamanca M. Empleo de un modelo de crecimiento y rendimiento para la determinación de la edad óptima de rotación de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* creciendo en la región oriental de Colombia. 2007.
- Mendoza MR, Rodríguez C. Método mexicano de ordenación de montes. Apéndice 7 del Proyecto Gral. de Ordenación Forestal de la UIEF Michoacana de Occidente, Unidad Industrial de Explotación Forestal Michoacana de Occidente, S. de R.L. Uruapan, Mich. 1959; 82.
- Murcia C. Evaluation of Andean Alder as a catalyst for the recovery of tropical cloud forests in Colombia. Forestry Ecology and management. 1997; 99:163-170.
- Novoa LA, Gaspar PAM, Parada SB, Gallegos RA. Estimación del Potencial de Fijación de Carbono por dos Métodos en Plantaciones Forestales Comerciales de *Tectona grandis* L.f., en Bahía de Banderas, Nayarit. Avances en la Investigación Científica en el CUCBA. 2006; 127-132.
- O'Hara KL. Silviculture for structural diversity: A new look at multiaged systems. J Forestry. 1998; 96:4-10.
- Pérez C. Técnicas estadísticas con SPSS 12: Aplicaciones al análisis de datos. Pearson Prentice Hall. Impreso en España. 2008.
- Raymond P. The Biology of Population Growth by The American Mercury, November 1924, 293-305.
- Reyes MJL. La relación competencia-densidad y su efecto en el crecimiento de los bosques naturales del Estado de Durango, México. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias. Universidad autónoma de Nuevo León. 2011.
- Reynolds RR, Baker JB, Ku TT. Four decades of selection management on the Crossett Farm Forestry Forties. Bull 872. Fayetteville, Arkansas. Agric Exp Stat. 1984; 87.
- Ribera MO. Aspectos ecológicos, del uso de la tierra y conservación en el parque nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata. En: Caminos de Cotapata (De Morales, Ed.). Instituto de Ecología, FUNDECO-FONAMA EIA. La Paz. 1995; 1-83.

Seppälä R, Buck A, Katila P. Adecuar los bosques al cambio climático (Panel Mundial de Expertos Forestales) Finlandia. ERWEKO. 1947; 40:82-85.

Seymour R, Kenefic LS. Balance and sustainability in multiaged stands: A Northern conifer case study. J Forestry 1998; 96: 12-17.

Valdez-Lazalde JR, Lynch T. Ecuaciones para estimar volumen comercial y total en rodales aclareados de *Pino patula* en Puebla, México. Agrociencia. 2000; 34: 747-758.
